

СОДЕРЖАНИЕ

Том 89, номер 4, 2019

Научная сессия Общего собрания членов Российской академии наук "Научное обеспечение реализации приоритетов научно-технологического развития Российской Федерации"

Вступительное слово президента РАН академика РАН <i>А.М. Сергеева</i>	309
Выступление заместителя председателя Правительства РФ <i>Т.А. Голиковой</i>	311
Выступление первого заместителя министра науки и высшего образования РФ академика РАН <i>Г.В. Трубникова</i>	315

Приоритет научно-технологического развития "Переход к экологически чистой и ресурсосберегающей энергетике, повышение эффективности добычи и глубокой переработки углеводородного сырья, формирование новых источников, способов транспортировки и хранения энергии"

(председатель Совета по приоритету академик РАН *В.Е. Фортков*)

Вступительное слово председателя Совета по приоритету академика РАН <i>В.Е. Форткова</i>	318
<i>О.Е. Аксютин</i> . Научно-технические проблемы добычи, транспортировки и переработки природного газа	321
<i>А.М. Кашин</i> . Распределённая энергетика на основе передовых технологий и цифровых систем	326
<i>Ю.К. Петреня</i> . Развитие газотурбинных энергетических технологий в России	331
<i>Ю.А. Оленин, В.И. Ильгисонис</i> . Актуальные научно-технические проблемы атомной энергетики	335
Общая дискуссия по приоритету: выступления академиков РАН <i>А.Э. Конторовича, С.П. Филиппова, С.В. Алексеенко, В.И. Бухтиярова, С.М. Алдошина</i>	343

Приоритет научно-технологического развития "Переход к передовым цифровым, интеллектуальным производственным технологиям, роботизированным системам, новым материалам и способам конструирования, создание систем обработки больших объёмов данных, машинного обучения и искусственного интеллекта"

(председатель Совета по приоритету академик РАН *И.А. Каляев*)

Вступительное слово председателя Совета по приоритету академика РАН <i>И.А. Каляева</i>	348
<i>В.В. Воеводин</i> . Суперкомпьютерные технологии в цифровом мире: теория, практика, образование	351
Выступление академика РАН <i>С.Л. Чернышева</i> и члена-корреспондента РАН <i>А.Н. Шиплюка</i>	355
Выступление академика РАН <i>Б.Н. Четверушкина</i>	358
Выступление члена-корреспондента РАН <i>С.А. Тихоцкого</i> и доктора технических наук <i>М.М. Хасанова</i>	360
Выступление доктора технических наук <i>А.В. Дуба</i>	362
<i>И.А. Соколов</i> . Теория и практика применения методов искусственного интеллекта	365
Выступление академика РАН <i>С.Ю. Желтова</i>	371
Выступление академика РАН <i>Н.А. Колчанова</i>	373
Выступление члена-корреспондента РАН <i>Д.В. Ушакова</i>	376
Выступление доктора физико-математических наук <i>Г.С. Осипова</i>	379
Общая дискуссия по приоритету: выступления академиков РАН <i>В.В. Устинова, В.Б. Бетелина, Е.Е. Тыртышников, К.В. Рудакова</i>	381

Приоритет научно-технологического развития "Возможность эффективного ответа российского общества на большие вызовы с учётом взаимодействия человека и природы, человека и технологий, социальных институтов на современном этапе глобального развития, в том числе с применением методов гуманитарных и социальных наук"

(председатель Совета по приоритету академик РАН *А.А. Дынкин*)

<i>А.А. Дынкин</i> . Социально-гуманитарное измерение ответов на большие вызовы	384
<i>В.В. Наумкин</i> . Причины возникновения и пути урегулирования этнополитических конфликтов	390
<i>Ф.Г. Войтоловский</i> . Трансформация внешних условий обеспечения национальной безопасности России	393
<i>Б.Н. Порфирьев</i> . Экономическое измерение климатического вызова устойчивому развитию России	400
<i>В.А. Тишков</i> . Российская идентичность: внутренние и внешние вызовы	408
Общая дискуссия по приоритету: выступления руководителя Федеральной службы государственной статистики <i>А.Е. Суринова</i> , доктора исторических наук <i>В.Я. Белокреницкого</i> , члена-корреспондента РАН <i>И.С. Семененко</i> , доктора исторических наук <i>И.Д. Звягельской</i>	413

Официальный отдел

Большая золотая медаль имени Н.И. Пирогова Российской академии наук 2018 года	416
О присуждении премии Российской академии наук и Национальной академии наук Беларуси по итогам конкурса, проведённого в 2018 году	418

CONTENTS

Vol. 89, No. 4, 2019

Simultaneous English language translation of the journal is available from Pleiades Publishing, Ltd.

Distributed worldwide by Springer. *Herald of the Russian Academy of Sciences* ISSN 1019-3316

Scientific Session of General Meeting of the Russian Academy of Sciences Members "Scientific support for the implementation of the priorities of the scientific and technological development of the Russian Federation"

Opening Speech of the president of RAS academician <i>A.M. Sergeev</i>	309
Speech of the deputy Prime Minister of the Russian Federation <i>T.A. Golikova</i>	311
Speech of the first deputy minister of science and higher education of the Russian Federation <i>G.V. Trubnikov</i>	315

Priority of scientific and technological development "The transition to an environmentally friendly and resource-saving energy, increasing the efficiency of extraction and deep processing of hydrocarbons, the formation of new sources, methods of transportation and storage of energy"

(Chairman of the priority Council academician of RAS *V.E. FORTOV*)

Opening Speech of the chairman of the priority Council of RAS, academician <i>V.E. Fortov</i>	318
<i>O.E. Aksyutin</i> . Science and technology issues associated with natural gas production, transmission and processing	321
<i>A.M. Kashin</i> . Distributed generation based on cutting-edge technology and digital systems	326
<i>Yu.K. Petrenya</i> . Development of gas-turbine technologies in Russia	331
<i>Yu.A. Olenin, V.I. Ilgisonis</i> . Scientific and Technical problems in nuclear power engineering	335
Discussion on the priority: speeches of academicians <i>A.E. Kontorovich, S.P. Filippov, S.V. Alekseenko, V.I. Bukhtiyarov, S.M. Aldoshin</i>	343

Priority of scientific and technological development "The transition to advanced digital, intelligent manufacturing technologies, robotic systems, new materials and methods of design, the creation of systems for processing large amounts of data, machine learning and artificial intelligence"

(Chairman of the priority Council academician of RAS *I.A. KALYAEV*)

Opening Speech of the chairman of the Priority Council of RAS, academician <i>I.A. Kalyaev</i>	348
<i>V.V. Voevodin</i> . Supercomputing technologies in the digital world: theory, practice, education	351
Speech of the academician of RAS <i>S.L. Chernyshev</i> and corresponding member of RAS <i>A.N. Shiplyuk</i>	355
Speech of the academician of RAS <i>B.N. Chetverushkin</i>	358
Speech of the corresponding member of RAS <i>S.A. Tikhotsky</i> and doctor of engineering <i>M.M. Khasanov</i>	360
Speech of the doctor of engineering <i>A.V. Dub</i>	362
<i>I.A. Sokolov</i> . Theory and practice in artificial intelligence applications	365
Speech of the academician of RAS <i>S.Yu. Zheltov</i>	371
Speech of the academician of RAS <i>N.A. Kolchanov</i>	373
Speech of the corresponding member of RAS <i>D.V. Ushakov</i>	376
Speech of the doctor of physical and mathematical sciences <i>G.S. Osipov</i>	379
Discussion on the priority: speeches of academicians of RAS <i>V.V. Ustinov, V.B. Betelin, E.E. Tyrtysnikov, K.V. Rudakov</i>	381

Priority of scientific and technological development "The possibility of an effective response of Russian society to great challenges, taking into account the interaction of man and nature, man and technology, social institutions at the present stage of global development, including using the methods of the humanities and social sciences"

(Chairman of the priority Council academician of RAS *A.A. DYNKIN*)

<i>A.A. Dynkin</i> . Social and humanitarian measurement of responses to grand challenges	384
<i>V.V. Naumkin</i> . Causes and ways to resolve ethnic and political conflicts	390
<i>F.G. Voitlovsky</i> . Changes in external environment affecting Russia's national security	393
<i>B.N. Porfiriev</i> . Economic dimensions of the climate change challenge for sustainable development in Russia	400
<i>V.A. Tishkov</i> . Russia's identity: internal and external challenges	408
Discussion on the priority: speeches of the head of the Federal State Statistics Service <i>A.E. Surinov</i> , doctor of history <i>V.Ya. Belokrenitskiy</i> , corresponding member of RAS <i>I.S. Semenenko</i> , doctor of history <i>I.D. Zvyagelskaya</i>	413

Официальный отдел

The Big Gold medal named after N.I. Pirogov of the Russian Academy of Sciences 2018	416
On awarding the prize of the Russian Academy of Sciences and the National Academy of Sciences of Belarus in 2018	418

НАУЧНАЯ СЕССИЯ
ОБЩЕГО СОБРАНИЯ ЧЛЕНОВ РАН

**НАУЧНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РЕАЛИЗАЦИИ ПРИОРИТЕТОВ
НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**НАУЧНАЯ СЕССИЯ ОБЩЕГО СОБРАНИЯ ЧЛЕНОВ РАН
13–14 НОЯБРЯ 2018 ГОДА, МОСКВА**

**ВСТУПИТЕЛЬНОЕ СЛОВО ПРЕЗИДЕНТА РАН
АКАДЕМИКА А.М. СЕРГЕЕВА**

Материал поступил в редакцию 03.12.2018 г.
Принят к публикации 25.12.2018 г.

Ключевые слова: Общее собрание членов РАН, Стратегия научно-технологического развития РФ, советы по приоритетам, Национальный проект "Наука".

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-5873894309-310>

Сегодня Общее собрание членов РАН будет посвящено развёртыванию работ по реализации Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации. Стратегия была принята в декабре 2016 г., и к настоящему времени завершился этап формирования инструментов её реализации.

Российской академии наук отводится большая роль в этом важном деле. Это не только работа по подготовке и последующей реализации программ фундаментальных исследований, но и формирование научно-технических проектов и комплексных научно-технических программ сквозного цикла — от исследований и разработок до конкретных технологий и продуктов.

В соответствии с указом Президента РФ и постановлением Правительства РФ сформирован Координационный совет по реализации Стратегии и семь советов по приоритетам, которые возглавляют члены РАН. В рамках Научной сессии Общего собрания членов РАН мы будем обсуждать первые предложения, которые сформулировали советы по приоритетам и выносят на наше обсуждение.

В обсуждении будут принимать участие не только члены РАН, но также представители министерств, ведомств, госкорпораций, крупных компаний, которые готовы стать заказчиками соответствующих проектов и программ. От нашей с вами работы в значительной степени зависит то, как быстро Россия встанет на рельсы инновационного развития, как скоро мы преодолеем

технологическое отставание от экономических лидеров — локомотивов научно-технического прогресса.

Надо сказать, что нам предстоит решать очень серьёзные задачи и проблемы. Как известно, страна испытывает дефицит трудовых и финансовых ресурсов, в то время как геополитическая ситуация не располагает к заимствованию знаний и технологий из-за рубежа. В этих условиях многократно возрастает роль наших главных богатств — интеллекта и креативности нации, носителями которых всегда была Российская академия наук.

Сейчас наша деятельность разворачивается под знаком двух очень важных событий, происшедших после мартовского Общего собрания членов РАН. Во-первых, это майский указ Президента РФ, в котором сформулированы 12 новых национальных проектов, среди которых Национальный проект "Наука". Во-вторых, это принятие закона о корректировке ФЗ № 253, которым значительно расширяются как полномочия, так и ответственность Российской академии наук в научно-исследовательском секторе страны. Оба эти события, безусловно, имеют отношение к программе сегодняшнего собрания.

В майском указе сформулированы амбициозные задачи. Например, что касается Национального проекта "Наука", в качестве одной из целей названо опережающее финансирование научно-исследовательского сектора (из всех источников финансирования) по сравнению

с ростом ВВП. Эта цель напрямую связана с обозначенной темой собрания.

Если говорить о корректировках, касающихся полномочий Российской академии наук, я назову одну из новых функций, которая поручена нам в соответствии с новым законом: вопросы прогнозирования основных направлений научного, научно-технического и социально-экономического развития страны. Наше нынешнее обсуждение должно стать основой такого прогнозирования.

На нас сейчас возложена очень серьёзная ответственность. От нашей работы в значительной степени зависит, насколько быстро Россия будет превращаться в экономического лидера на базе научно-технологического прогресса. Мы должны понимать, что эта задача напрямую связана с ростом влияния Российской академии наук в нашем обществе, что необходимо как можно скорее вернуть Академию наук на те важные позиции, которые она занимала в XX столетии.

OPENING SPEECH OF THE PRESIDENT OF RAS ACADEMICIAN A.M. SERGEEV

Received: 03.12.2018

Accepted: 08.12.2018

Keywords: General Meeting of the RAS Members, Strategy for scientific and technological development in the Russian Federation, Priority Councils, National Science Project.

ВЫСТУПЛЕНИЕ ЗАМЕСТИТЕЛЯ ПРЕДСЕДАТЕЛЯ ПРАВИТЕЛЬСТВА РФ Т.А. ГОЛИКОВОЙ

Материал поступил в редакцию 03.12.2018 г.

Принят к публикации 25.12.2018 г.

Ключевые слова: Д.А. Медведев, приоритеты научно-технологического развития, инновационное развитие, национальные цели развития России, Федеральный закон "О Российской академии наук".

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-5873894311-314>

Прежде чем приступить к своему выступлению, я бы хотела зачитать приветственное слово председателя Правительства Российской Федерации участникам Общего собрания членов Российской академии наук.

"Уважаемые друзья! Приветствую вас на Общем собрании членов Российской академии наук.

Российская академия наук ведёт своё начало ещё с петровских времён. Пётр I считал применение передовых знаний на практике задачей государственного масштаба, основным условием успеха своих реформ. Какой бы ни была эпоха, интеллект всегда оставался движущей силой главных преобразований в стране.

Сегодня Академия наук пользуется заслуженным уважением во всём мире как высшая научная организация России. Вы активно участвуете в решении многих ключевых задач, стоящих перед страной. В ближайшие годы Россия должна войти в пятёрку ведущих государств, которые проводят исследования и осуществляют разработки в областях, определяемых приоритетами научно-технологического развития. Важно, что именно члены Российской академии наук возглавляют советы по всем приоритетным направлениям. От вашей работы зависит реализация национальных проектов в науке, образовании, здравоохранении, сельском хозяйстве и многих других областях, а значит — будущее нашей страны, рост её экономики, поддержка социальной сферы, конкурентоспособность в мире.

В ходе обсуждения вам предстоит подробно рассмотреть, как ведётся эта работа. Конечно, простых задач в науке не бывает. Но я уверен, что российским учёным под силу их решить.

Желаю вам интересных дискуссий, успехов и всего наилучшего.

*Председатель Правительства
Российской Федерации
Д.А. МЕДВЕДЕВ"*

Позвольте сказать несколько слов о реализации приоритетов научно-технологического развития России, о Национальном проекте "Наука", о котором уже упоминал академик А.М. Сергеев во вступительном слове.

Ещё раз напомним, что Президент России своим указом от 1 декабря 2016 г. № 642 утвердил Стратегию научно-технологического развития Российской Федерации до 2025 г. В этом документе определены цели научно-технологического развития нашей страны, задачи, принципы, приоритеты, направления и меры реализации государственной политики в этой области, а также основные ожидаемые результаты.

Несмотря на то, что Россия исторически является одним из лидеров среди мировых научных держав, современный этап развития науки может характеризоваться как наличием наших конкурентных преимуществ, так и рядом нерешённых на данный момент проблем, препятствующих научно-технологическому развитию страны. Ключевые среди них — актуальность проводимых научных исследований, дифференциация научных и образовательных центров по результативности и эффективности работы, концентрация исследовательского потенциала лишь в нескольких регионах страны, отток молодых научных кадров, слабая восприимчивость экономики к инновационному развитию и к инновациям. Эти проблемы создают высокие риски постепенного отставания России от стран — мировых технологических лидеров и обесценивания внутренних инвестиций в сферу науки и технологий.

Возможно, что негативная тенденция в развитии научного потенциала страны создаёт риски и с точки зрения обеспечения национальной безопасности. Поэтому Президент страны определил научно-технологическое развитие в качестве одного из приоритетов государственной политики. При этом наши усилия должны быть сконцентрированы на тех направлениях, которые позволяют получить научные и научно-технические результаты и создать технологии, являющиеся основой

инновационного развития внутреннего рынка продуктов и услуг, устойчивого положения России на внешнем рынке.

В рамках поставленной Президентом России задачи Правительством РФ совместно с экспертным сообществом и общественными организациями, а также Российской академией наук был подготовлен Национальный проект "Наука", цель которого — обеспечение прорывного развития российской науки и подтверждение её лидирующих позиций в мире. Проект одобрен Президентом РФ 24 октября 2018 г. на заседании Совета по стратегическому развитию и национальным проектам.

На каких же ключевых направлениях национального проекта нам с вами предстоит сосредоточиться? Их три, и каждый из них будет реализовываться в рамках соответствующего федерального проекта, причём каждый федеральный проект будет включать перечень мероприятий, который ещё предстоит выработать. Вот эти ключевые направления:

- развитие научной и научно-производственной кооперации;
- создание передовой инфраструктуры и проведение исследований;
- совершенствование кадрового потенциала.

В национальном проекте определены ключевые показатели российской науки на период до 2024 г. В том числе мы должны войти в первую пятёрку стран по удельному весу научных статей, опубликованных в ведущих мировых научных изданиях, и в первую пятёрку стран по количеству заявок на получение патентов на изобретения. Нам предстоит сохранить за собой высокое — четвёртое — место по количеству исследователей, при этом увеличив долю молодых исследователей в возрасте до 39 лет до 50,1%. Работа в России должна стать привлекательной не только для российских, но и для зарубежных ведущих учёных и молодых перспективных исследователей.

Результатом реализации национального проекта должно стать двукратное увеличение внутренних затрат на исследования и разработки к 2024 г. Увеличение этого показателя в целом за счёт всех источников финансирования должно достигать 1,8 трлн руб. в год.

Необходимо отметить, что показатели Национального проекта "Наука" взаимосвязаны с национальными целями развития Российской Федерации на период до 2024 г., которые установлены майским указом Президента РФ. Достижение плановых значений показателей национального проекта — необходимое условие определённых стратегий научного и научно-технологического развития, которые сегодня будут обсуждаться.

Не стану останавливаться подробно на отдельных мероприятиях национального проекта. Вам,

безусловно, они известны, так как документ опубликован, правда, это касается только верхних показателей, поскольку весь состав мероприятий, которые предстоит осуществлять в предстоящие шесть лет, нам с вами ещё нужно обсудить, конкретизировать, решить, каких результатов необходимо достичь. Сейчас эта работа в полном разгаре, мною дано соответствующее протокольное поручение, и уже скоро мы перейдём ко второму этапу — обсуждению конкретных мероприятий, которые предстоит утвердить до конца 2018 г.

Что предпринимается Правительством для достижения тех целей, которые мы перед собой ставим?

Во-первых, принято решение, что для обеспечения эффективности реализации Национального проекта "Наука" управление им будет осуществляться в соответствии с лучшими практиками, на основе принципов проектного управления. В этой связи в Правительстве были созданы все проектные инструменты, в том числе проектный офис с участием представителей Правительства, ключевых министерств, ведомств, научных и общественных организаций.

Во-вторых, обеспечена координация действий федерального центра и органов региональной власти. В рамках готовящегося заседания Государственного совета рабочей группой рассмотрены предложения по основным направлениям деятельности органов исполнительной власти регионов при реализации национальных проектов, в том числе Национального проекта "Наука". По итогам работы рабочей группы будет подготовлен доклад Президенту РФ на заседании Государственного совета.

В-третьих, принято решение о выделении значительных финансовых ресурсов на реализацию национального проекта. Это порядка 635 млрд руб., из которых 404 млрд — средства федерального бюджета. Мы не называем сейчас точную цифру, потому что бюджет находится на стадии утверждения.

Необходимо отметить, что Российской академии наук отводится одна из ключевых ролей в реализации поставленных задач. В июле 2018 г., как уже было сказано, в Федеральный закон "О Российской академии наук" были внесены важные поправки, расширяющие её функции и полномочия. В частности, изменения затронули порядок назначения исполняющих обязанности руководителей и прекращения полномочий руководителей научных организаций, реорганизации и ликвидации научных организаций, внесения изменений в их уставы. Расширены цели деятельности Академии наук. К ним отнесено прогнозирование основных направлений научного, научно-технического, социально-экономического развития России, а также научно-методическое руководство науч-

ной и научно-технической деятельностью научных и образовательных организаций высшего образования. В число задач, решаемых академией, включены проведение фундаментальных и поисковых научных исследований, в том числе в сфере оборонно-промышленного комплекса в интересах обороны страны и безопасности государства, и организация фундаментальных научных исследований в России на долгосрочный период.

В соответствии с уставом Российской академии наук предоставлены полномочия по осуществлению экспертизы научно-технологических программ, проектов, мониторинговой оценки результатов деятельности государственных научных организаций, а также научно-технических результатов, созданных за счёт средств федерального бюджета. Вы участвуете в нормотворческой деятельности, осуществляете мониторинг состояния фундаментальных наук, даёте рекомендации по необходимому объёму бюджетного финансирования научных проектов. Сегодня Российская академия наук — это фактически и методический, и экспертный орган в научно-технической сфере.

В рамках действующих полномочий в 2016—2017 гг. академией было подготовлено более 9 тыс. экспертных заключений, определивших качество и потенциал проведённых научных исследований. Из всех прошедших экспертизу результатов по большинству показателей — качеству, ожидаемому эффекту, потенциалу, уровню современности — 35% соответствуют научному уровню Российской Федерации и могут быть применены в стране; 31% результатов соответствует мировому уровню или превышает его; но 8% результатов исследований оказались ниже среднего для Российской Федерации уровня, то есть ресурсы были потрачены неэффективно. Учитывая вызовы, с которыми сталкивается наша страна, такая структура не должна нас с вами устраивать.

Статистические данные о состоянии науки в России говорят о следующем. С 2014 г. происходит рост внутренних затрат на исследования и разработки. Хочу обратить ваше внимание на то, что это 1 трлн руб., а к концу 2024 г. эту цифру предстоит практически удвоить — до 1,8 трлн руб. Это требует существенных усилий не только государственной власти, но и бизнеса. Расширяется использование охраняемых результатов интеллектуальной деятельности — свыше 32 тыс. единиц. Наблюдается увеличение числа исследований по ряду инновационно значимых для промышленности технологий. К ним относятся: создание энергосберегающих систем (13%), ракетно-космическая и транспортная техника нового поколения (44%), а по базовым технологиям силовой электротехники отмечается практически двукратный рост.

Особенно заметное увеличение числа исследований зафиксировано в области гуманитарных и общественных наук: это педагогика, социология, политика, культура, искусство, изучение стран и регионов. Среди естественных наук есть немногочисленные примеры положительной динамики, например, в геофизике, сельском и лесном хозяйстве. В то же время обращаю ваше внимание на тот факт, что в 2016—2017 гг. наблюдалось снижение числа исследований в области клеточных технологий (на 37%), биоинженерии (30%), диагностики наноматериалов и наноустройств (30%), высокопроизводительных вычислительных систем (32%), геномных технологий (32%). К подобным отраслям сегодня относятся даже физика, математика, биология, геология, горное дело и автоматика.

Мне кажется, эти цифры должны вас не просто удивить — они должны вас напугать. Мы обязаны менять подобные тенденции. Безусловно, с учётом обозначенных направлений некоторым образом эту ситуацию изменит Национальный проект "Наука", но этого недостаточно. Мы должны быстрыми шагами двигаться в рамках утверждённой Президентом страны Стратегии. Однако вам следует оценить структуру научных работ своих научных организаций: отвечает ли она сегодня тем стратегическим задачам, которые стоят не только перед Российской академией наук, не только перед Правительством РФ, но и перед всей страной?

Конечно, это задача не только Академии наук и её институтов — это наша совместная задача. Мы должны распространить положительную динамику развития ряда отраслей науки на все научные направления, поднять эффективность и результативность проводимых научных исследований, провести инвентаризацию уже разработанных НИОКРов и их вовлечение в экономический оборот. Это важно, потому что статистика свидетельствует, что во многих институтах такие разработки имеются, но до конечной стадии они не доходят.

Минобрнауки России совместно с Академией наук сформировало семь советов по приоритетным направлениям научно-технологического развития Российской Федерации. В настоящее время советы приступили к подготовке научных, научно-технических и инновационных проектов по приоритетным направлениям. Возглавляют эти советы члены Российской академии наук. Это ещё раз подчёркивает ключевую роль академии в реализации поставленных задач. В ближайшее время предстоит огромная совместная работа РАН и Минобрнауки по отбору и формированию наиболее перспективных комплексных научно-технических программ и проектов полного инновационного цикла — от фундаментальных разработок до практического использования результатов по приоритетам научно-технологического развития.

Таким образом, в настоящее время первоочередная задача — определение порядка взаимодействия Российской академии наук и Министерства науки и высшего образования РФ, а также правил осуществления методического руководства научной и научно-технической деятельностью исследовательских организаций. Необходимо отметить, что пока данные документы не утверждены, идёт сложный процесс согласования. Мы обсуждали эту тему и с министром, и с президентом РАН, и я очень надеюсь, что в ближайшее время эти документы будут представлены Правительству РФ. Тесное оперативное сотрудничество Правительства и академии позволит осуществлять объективный мониторинг ключевых результатов научной и научно-технической деятельности, создавая тем самым условия для адресного планирования инструментов, в том числе и финансовой поддержки.

Сегодняшнее собрание должно определить роль Российской академии наук в реализации Стратегии научно-технологического развития страны. В Научной сессии принимают участие как ведущие академики, эксперты, так и руководители федеральных органов исполнительной власти. Уверена, что по результатам этой работы нам с вами удастся использовать накопленный положительный опыт, организовать работу так, чтобы качественно улучшить ситуацию в российской науке, сделать её современной и конкурентоспособной.

Академик А.М. Сергеев попросил меня прокомментировать два обращения Российской академии наук в Правительство РФ относительно перспектив дальнейшего финансового обеспечения новых полномочий РАН, обусловленных принятием поправок в закон. Имеются в виду международная деятельность, прогнозирование научно-технического и социально-экономического развития Российской Федерации, ряд других направлений деятельности. Предполагается дополнительно выделить Российской академии наук 829 млн руб. и ещё 220 млн руб. на информационное обеспечение. У нас есть принципиальная договорённость с Министерством финансов РФ, что после соот-

ветствующей проработки эти предложения войдут в поправки к бюджету 2019 г.

Чтобы успеть, РАН совместно с Министерством науки и высшего образования РФ (если в этом есть необходимость), а по международной деятельности с Министерством иностранных дел РФ, следует провести согласование подходов. Что касается информационного сопровождения, то в соответствии с требованиями Регламента Правительства РФ все информационные системы, которые предполагается создавать за счёт средств федерального бюджета, должны пройти экспертизу Министерства цифрового развития, связи и массовых коммуникаций РФ.

Поэтому, уважаемые коллеги, я прошу в самое ближайшее время провести эту работу так, чтобы быть готовыми к внесению уже согласованных и обоснованных поправок в бюджет 2019 г.

Второе письмо поступило вчера, и насколько я понимаю, оно мотивировано в том числе подписанием соглашения о взаимодействии между Российской академией наук и Советом Федерации ФС РФ. Речь идёт об издательской деятельности академии, а также о создании в Санкт-Петербурге некоего исторического подразделения Российской академии наук, что заслуживает уважения и поддержки. Вчера мною было дано соответствующее поручение Министерству науки и высшего образования РФ и Министерству финансов РФ, чтобы этот вопрос в скором времени был проработан. На ближайшем заседании Правительства мы планируем рассмотреть распоряжение о создании Организационного комитета по празднованию 300-летия Российской академии наук.

Наконец, ещё одна горячая тема. Правительство поддержало поправки в устав, предложенные президиумом РАН, включая вопросы гостиничного обслуживания Академии наук.

Таким образом, уважаемые коллеги, Правительство РФ готово конструктивно взаимодействовать с Российской академией наук не только по крупным вопросам государственного значения, но и в том, что касается текущих задач, готово выработать совместные решения.

SPEECH OF THE DEPUTY PRIME MINISTER OF THE RUSSIAN FEDERATION T.A. GOLIKOVA

Received: 03.12.2018

Accepted: 25.12.2018

Keywords: D.A. Medvedev, Priorities for scientific and technological development, innovative development, national development goals of Russia, Federal Law “On the Russian Academy of Sciences”.

ВЫСТУПЛЕНИЕ ПЕРВОГО ЗАМЕСТИТЕЛЯ МИНИСТРА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ АКАДЕМИКА РАН Г.В. ТРУБНИКОВА

Материал поступил в редакцию 03.12.2018 г.
Принят к публикации 25.12.2018 г.

Ключевые слова: Министерство науки и высшего образования РФ, нацпроекты "Наука" и "Образование", государственная поддержка знаний и инноваций, модель международного научного сотрудничества.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-5873894315-317>

От имени Министерства науки и высшего образования РФ и по поручению министра, который очень хотел здесь присутствовать, но должен был сопровождать Президента страны в его поездке, разрешите приветствовать Общее собрание членов Российской академии наук и всю научную общественность России с началом сегодняшней работы. Я постараюсь обозначить основные аспекты нашей совместной деятельности.

Развитие сферы науки и высшего образования в Российской Федерации является важнейшим инструментом обеспечения устойчивого, динамичного роста экономики страны и национальной безопасности.

В указе Президента РФ "О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года" направление "Наука", наряду с направлением "Образование", обозначено как необходимая составляющая достижения национальных целей. В соответствии с указом Минобрнауки России при непосредственном участии Российской академии наук подготовлен Национальный проект "Наука".

В нём обозначены амбициозные цели: необходимо обеспечить присутствие Российской Федерации в числе пяти ведущих стран мира, осуществляющих научные исследования и разработки в областях, определяемых приоритетами научно-технологического развития; нужно добиться того, чтобы работа в России стала привлекательной как для отечественных, так и для зарубежных ведущих учёных и молодых перспективных исследователей; следует обеспечить опережающее увеличение внутренних затрат на научные исследования и разработки за счёт всех источников финансирования по сравнению с ростом ВВП страны. В области высшего образования нам предстоит создать условия для повышения конкурентоспособности российского образования, вхождения Российской Федерации в число 10 ведущих стран мира по качеству высшего образования.

Успешная реализация нацпроектов "Наука" и "Образование" должна способствовать достижению национальных целей, сформулированных в указе Президента по вхождению России в число пяти крупнейших экономик мира и обеспечению темпов экономического роста выше мировых, по ускорению технологического развития страны, в частности, путём увеличения количества организаций, осуществляющих технологические инновации, до 50% их общего числа и создания в базовых отраслях экономики, прежде всего в обрабатывающей промышленности и агропромышленном комплексе, высокопроизводительного экспортно ориентированного сектора, развивающегося на основе современных технологий и обеспеченного высококвалифицированными кадрами.

Реализация Нацпроекта "Наука" должна стать системообразующим механизмом, способствующим осуществлению других национальных проектов за счёт их научного обеспечения, в том числе отдельных задач технологического развития, актуальных для конкретных субъектов Российской Федерации в рамках реализации Стратегии пространственного развития страны.

Очевидно, что достижение этих целей возможно исключительно посредством тесного взаимодействия всех участников отечественной научно-технологической сферы. И здесь, в обеспечении целостности и единства научно-технологического развития нашего государства, исключительно важной представляется роль Российской академии наук.

В рамках реализации мероприятий Нацпроекта "Наука" нам предстоит решить ряд задач, связанных с приоритизацией направлений научных исследований как в фундаментальных областях, так и в сфере прикладных разработок. Нельзя не отметить, что на этапе подготовки мероприятий нацпроекта Академия наук провела серьёзную работу по обеспечению взаимной увязки положений нацпроекта со Стратегией научно-техно-

логического развития РФ, силами академии был подготовлен перечень из 112 ведущих направлений научно-технологического развития, который напрямую отражает приоритеты Стратегии. Мы видим необходимость продолжения совместной работы на всех последующих этапах реализации нацпроекта.

В рамках исполнения плана реализации Стратегии на базе РАН развёрнуты и начали действовать советы по приоритетным направлениям научно-технологического развития, возглавляемые ведущими членами академии. Тем самым сформированы площадки, на которых стало возможным координировать усилия не только фундаментальной науки, но и всех отраслей исследований и разработок, представителей крупной индустрии и федеральных органов исполнительной власти.

Реализация Стратегии научно-технологического развития РФ и Национального проекта "Наука" требует изменения системы управления научно-технологической сферой и повышения эффективности труда исследователей. В рамках развития инструментов стратегического планирования в научно-технической сфере Минобрнауки России подготовлен проект постановления Правительства РФ "Об утверждении новой Государственной программы научно-технологического развития", которая, согласно поручению Президента РФ, должна консолидировать все расходы на гражданскую науку. То есть речь идёт о межведомственной государственной программе, в которую в том числе включён крупный блок, касающийся высшего образования. Мы считаем, что новая Государственная программа, когда она будет принята, станет действенным инструментом достижения целей, определённых Стратегией и Нацпроектом "Наука".

В новой Государственной программе министерство совместно с РАН стремилось сбалансировать меры государственной поддержки всех стадий жизненного цикла знаний и инноваций; сконцентрировать интеллектуальные, инфраструктурные и финансовые ресурсы для реализации комплексных программ и проектов; сосредоточиться на формировании главного ресурса научно-технологического развития — корпуса квалифицированных исследователей, инженеров и технических предпринимателей, на поддержке их профессионального роста и создании возможностей для реализации их талантов.

Следует сказать несколько слов о взаимодействии Минобрнауки России и Российской академии наук в реализации первого этапа Стратегии научно-технологического развития РФ.

Российская академия наук активно участвует в выполнении первого этапа плана реализации Стратегии, координация исполнения которого

возложена на Министерство науки и высшего образования РФ. Помимо формирования советов по приоритетным направлениям при непосредственном участии РАН в настоящее время разработан проект новой Государственной программы научно-технологического развития РФ, о которой я уже сказал. В рамках этой программы должна быть подготовлена и утверждена Программа фундаментальных исследований, сформированная в соответствии с "большими вызовами" и включающая механизмы их распознавания и предложения государству по реагированию. Конечно же, это задача прежде всего Российской академии наук.

Минобрнауки России в рамках плана реализации Стратегии разработан проект распоряжения Правительства РФ об утверждении целевых показателей исполнения Стратегии научно-технологического развития. Работа над этим документом также велась министерством совместно с Российской академией наук. Этот документ неоднократно обсуждался, в том числе в академии. В настоящее время он проходит согласование в установленном порядке и внесён в Правительство РФ.

Одним из основных инструментов реализации Стратегии является переход от разрозненных и дублирующих друг друга научных исследований к комплексным научно-техническим программам. В этой связи в рамках плана реализации Стратегии в Правительство РФ министерством внесён проект постановления, которым утверждаются правила разработки и реализации комплексных научно-технических программ.

С целью усиления роли репутационных механизмов в признании научной квалификации и заслуг исследователей, повышения авторитета учёных в обществе Российской академией наук успешно реализована методика оценки результативности деятельности научных организаций с использованием независимой экспертизы. Осуществлён пилотный проект по экспертной оценке свыше 10 тыс. научно-исследовательских работ, представленных научными организациями, дополненной анализом наукометрических показателей публикационной активности. Результаты проведённой оценки легли в основу методики формирования планов научно-исследовательских работ на 2019 г. и на период до 2020–2021 гг.

Важная часть реализации Стратегии — формирование модели международного научно-технического сотрудничества и международной интеграции в области исследований и технологического развития. При активном содействии Академии наук разработана концепция международного научно-технического сотрудничества, которая определяет и конкретизирует цели, механизмы

функционирования и формы оптимальной организации международного научно-технического взаимодействия как системного фактора научно-технологического развития России в рамках парадигмы "больших вызовов".

В этом разделе плана реализации Стратегии за Российской академией наук закреплено такое важное направление, как развитие механизмов научной дипломатии. Разработана "дорожная карта" развития научной дипломатии, которая предусматривает повышение квалификации специалистов и обмен опытом организации международного сотрудничества в сфере науки, технологий и инноваций. По этому пункту плана предусмотрена ежегодная отчётность перед Правительством РФ в начале декабря каждого года.

Одна из задач первого этапа реализации Стратегии — формирование целостной системы устойчивого воспроизводства и привлечения кадров для научно-технологического развития страны. При решении данной задачи Российской академии наук предстоит провести корректировку стратегических документов институтов развития России, осуществляющих поддержку научной, научно-технической и инновационной деятельности, что предполагает закрепление ответственности за реализацию конкретных целей, задач и приоритетов Стратегии.

Среди основополагающих законодательных инициатив в сфере науки — проект Федерального закона "О научной, научно-технической и инновационной деятельности в Российской Федерации", который в последние два года активно обсуждается, в том числе с участием РАН, Совета Федерации ФС РФ, Комитета Государственной думы по образованию и науке и региональных органов законодательной власти. В настоящее время этот законопроект дорабатывается министерством с точки зрения уточнения ряда его

концептуальных положений, с учётом майского указа Президента. В законопроекте должны найти отражение задачи нормативного регулирования взаимодействия всего спектра организаций, вовлечённых в деятельность по научным исследованиям и разработкам.

Внесение законопроекта на рассмотрение в законодательные органы требует одновременных изменений во многих федеральных законах, что предполагает повторное обсуждение всего пакета документов. Мы надеемся внести законопроект в Правительство РФ в 2019 г. Потребуются изменения в Гражданский кодекс, Трудовой кодекс, Бюджетный кодекс Российской Федерации и в около 20 федеральных законов.

Минобрнауки России совместно с Академией наук и субъектами Российской Федерации представило предложения в доклад рабочей группы Госсовета РФ по направлению "Наука", которые отражают основные региональные аспекты реализации национального проекта. Особый акцент сделан на роли субъектов Российской Федерации в консолидации с федеральными органами государственной власти, научно-образовательным и предпринимательским сообществом по созданию благоприятных условий для использования достижений науки и для обеспечения целостности и единства научно-технологического развития страны.

Мы уделяем очень большое внимание проходящему сейчас Общему собранию членов РАН. Министерство и, я уверен, вся научная общественность возлагают большие надежды на те решения, которые вынесет Общее собрание по итогам обсуждения предложений Советов по формированию перспективных программ и проектов по приоритетным направлениям исследований, определённых Стратегией научно-технологического развития Российской Федерации.

SPEECH OF THE FIRST DEPUTY MINISTER OF SCIENCE AND HIGHER EDUCATION OF THE RUSSIAN FEDERATION G.V. TRUBNIKOV

Received: 03.12.2018

Accepted: 25.01.2019

Keywords: Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, national science and education projects, state support of knowledge and innovation, model of international scientific cooperation.

**НАУЧНАЯ СЕССИЯ
ОБЩЕГО СОБРАНИЯ ЧЛЕНОВ РАН**

**ПРИОРИТЕТ НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ "ПЕРЕХОД К ЭКОЛОГИЧЕСКИ
ЧИСТОЙ И РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩЕЙ ЭНЕРГЕТИКЕ, ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ДОБЫЧИ И ГЛУБОКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ УГЛЕВОДОРОДНОГО СЫРЬЯ, ФОРМИРОВАНИЕ НОВЫХ
ИСТОЧНИКОВ, СПОСОБОВ ТРАНСПОРТИРОВКИ И ХРАНЕНИЯ ЭНЕРГИИ"**

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ СОВЕТА ПО ПРИОРИТЕТУ АКАДЕМИК РАН В.Е. ФОРТОВ

**ВСТУПИТЕЛЬНОЕ СЛОВО ПРЕДСЕДАТЕЛЯ СОВЕТА ПО ПРИОРИТЕТУ
АКАДЕМИКА РАН В.Е. ФОРТОВА**

Материал поступил в редакцию 03.12.2018 г.
Принят к публикации 25.12.2018 г.

Ключевые слова: энергетика, большие вызовы, модернизация энергетики, установки с комбинированным парогазовым циклом, технологии добычи, разведки, извлечения газа и нефти из сложных геологических структур, глубокая переработка нефти и газа, распределённая энергетика, атомная энергетика, термоядерный синтез, математическое моделирование энергетических устройств.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-5873894318-320>

Когда готовили Стратегию научно-технологического развития РФ, энергетику сразу включили в число ключевых приоритетов, и тому было две причины.

Первая причина состоит в том, что, как вы знаете, энергетика является базисной, ведущей отраслью нашей экономики. Она обеспечивает 22% внутреннего валового продукта, 60% экспорта и 40% поступлений в бюджет. При этом в ТЭКе трудится всего 4% занятого населения нашей страны. Россия — крупнейший экспортёр энергоресурсов. По экспорту нефтепродуктов мы делим первое и второе место с США. Причём это произошло недавно. По газу страна тоже входит в тройку крупнейших доноров мира. По добыче угля и производству электроэнергии мы находимся на четвёртом месте среди всех стран мира.

Второе обстоятельство, определяющее ведущее место энергетики в экономике, заключается в том, что это системообразующая отрасль. От её функционирования зависит работоспособность остального хозяйственного механизма страны. Это значит, что ни в одной из областей деятельности нельзя добиться прогресса без опережающего (как правило, 20%-ного) превышения доступной электроэнергии по отношению к тому объёму, который потребуется буквально сегодня-завтра.

В нашей стране необходимость опережающего развития энергетики понятна. Поэтому энергетика всегда являлась приоритетом и отклика-

лась на вызовы, стоящие перед государством. Я имею в виду революцию, восстановительную индустриализацию, Вторую мировую войну, возрождение промышленности и перестройку, когда мы столкнулись с радикальной сменой общественно-экономической формации. Последний вызов оказался для энергетики самым драматичным и самым тяжёлым, потому что 20 лет назад было принято волонтаристское решение заморозить энерготарифы. Это породило ситуацию, при которой энергетика стала датировать переживаемую экономику, не имея собственных ресурсов для развития, что, в свою очередь, отразилось на многих сферах науки, техники и энергетического производства. Во всяком случае, сегодня энергетика стоит перед серьёзным и драматичным выбором. Но пока мы не так остро чувствуем драматизм этой ситуации, поскольку процесс происходит на фоне падающей экономики. Однако для обеспечения экономического роста, на который мы надеемся, энергетика должна стать опережающей отраслью народного хозяйства.

Под действием перечисленных факторов энергетика начала быстрыми темпами стареть. Сегодня приблизительно 60% генерирующего и транспортного энергетического оборудования нуждается в замене, а 30% находится в аварийном или близком к нему состоянии. Это значит, что энергетика падает по всем параметрам

и не скоро сможет поддерживать рост, на который рассчитывает страна. Поэтому необходима срочная замена оборудования, причём на базе новых технологий — тех, которые предлагает наука и которые должны внедряться с учётом особенностей нашего развития.

В последние годы широкое распространение в энергетике получили установки с комбинированным парогазовым циклом, преимущества которого впервые доказал ещё в 1950-х годах наш соотечественник — академик С. А. Христианович. Парогазовая установка состоит из двух отдельных блоков: газотурбинного, где разрабатывается так называемая высокоэнтальпийная часть энергии, и паросилового, где происходит выработка электроэнергии водяным нагретым паром. Хочу отметить только, что лопатки первой ступени газовой турбины работают при температуре 2 тыс. °С. И на каждой генерируется до 20 МВт энергии. При этом одна лопатка стоит столько, сколько "Мерседес" Е-класса. Именно от этой детали во многом зависит долговечность и срок службы всей энергоустановки.

Современные турбины с комбинированным парогазовым циклом имеют высокий коэффициент полезного действия: 62% против 35–40% у паросиловых машин, которые применяются в нашей стране. А если добавить в комбинированный цикл высокотемпературные оксидные топливные элементы, то КПД установок может достигать 80%. Производство газовых турбин большой мощности — это высокие технологии, и нам предстоит многое сделать, чтобы в стране появилась инновационная техника. Заместитель генерального директора — технический директор ПАО "Силовые машины" член-корреспондент РАН Юрий Кириллович Петреня — ведущий специалист в области газотурбинных технологий — расскажет, как развивается у нас данное направление.

Наша страна обладает значительными природными ресурсами, которые являются национальным достоянием и во многом определяют развитие экономики. На каждого гражданина России приходится в 11 раз больше природных запасов, чем на любого другого жителя Земли. Тем не менее традиционно используемые человечеством энергоресурсы — уголь, газ и нефть — заканчиваются, сокращаются и экономически выгодные для добычи запасы углеводородного сырья, поэтому нужно уже сейчас принимать меры. В последнее время стали широко применять технологию добычи, разведки, извлечения газа и нефти из сложных геологических структур. Член-корреспондент РАН Олег Евгеньевич Аксютин, заместитель председателя ПАО "Газпром", сделает сообщение на эту тему. Кроме того, он затронет такую важную проблему, как глубокая переработка нефти и газа. Россия

здесь сильно отстаёт. Так, глубина переработки нефти в мире находится на уровне 93–94%, а в нашей стране она составляет 80%. В Академии наук есть интересные предложения по увеличению глубины переработки углеводородного сырья, реализация которых может дать грандиозный экономический эффект. Эти предложения обсуждались на специальном заседании Совета по приоритету "Переход к экологически чистой и ресурсосберегающей энергетике..."

Я уже отмечал, что сетевая и генерирующая инфраструктура в России сильно изношена и нуждается в коренной и срочной модернизации. Основная идея, позволяющая изменить положение дел в этой сфере, состоит в комбинации существующей системы производства, передачи и потребления электроэнергии и так называемой "умной" сети (Smart Grid), которая построена на использовании информационных технологий и современных электронных аппаратных средств для достижения надёжности электрических сетей, повышения качества электроэнергии и снижения её потерь с 20 до 5%. Это очень серьёзные задачи, о которых пойдёт речь в докладе генерального директора группы компаний "ИнЭнерджи" Алексея Михайловича Кашина.

Одно из требований, предъявляемых к технологии Smart Grid, состоит в необходимости её применения в распределённой энергетике, основанной на возобновляемых источниках энергии, в частности на использовании энергии ветра и солнца. Несмотря на довольно расхожее мнение, что Россия — северная страна, у нас много солнечной энергии. Но если Германия, самая передовая в плане использования возобновляемых источников, получает значительную часть (до 30%) энергии от солнечных электростанций, то наши реалии сейчас более чем скромные — не выше 1%. Между тем доля возобновляемых источников в производстве электроэнергии в мире уже составляет 1 ТВт. Наша задача состоит в том, чтобы не упустить этот тренд. Нам необходимо адаптировать ветровые и солнечные энергетические устройства и включить их в большую сеть. Это делается с помощью специальных систем рекуперации и хранения энергии. Алексей Михайлович Кашин затронет и эту тему.

Атомная энергетика всегда была в России в центре внимания. Для нашей страны это важный ресурс развития. Доля атомной генерации в производстве электроэнергии в стране достигла 18%. Но есть регионы, где 40–42% электроэнергии вырабатывается именно атомными станциями.

Атомная энергетика обладает большими преимуществами. Она экологически чистая, если не допускать тяжёлых проектных аварий, технологичная и не зависит от волатильности цен

на углеводороды. Но в последнее время возникли серьёзные проблемы, связанные с возрастающей ролью возобновляемых источников энергии на мировом энергоринок и снижением конкурентоспособности атомной энергетики. В этих условиях важно понять перспективы отрасли и поддержать тот уровень, который определял бы её дальнейшее развитие. Речь прежде всего идёт о проекте "Прорыв", предусматривающем создание ядерных энерготехнологий нового поколения на базе замкнутого ядерного топливного цикла с реакторами на быстрых нейтронах. Есть и другие проекты, способные изменить будущее атомной энергетики, о которых подробнее расскажет директор направления научно-технических исследований и разработок Госкорпорации "Росатом" доктор физико-математических наук Виктор Игоревич Ильгисонис. Я только добавлю, что один из видов перспективной атомной энергетики — управляемый термоядерный синтез — сегодня получил новые импульсы к развитию, потому что сразу на нескольких установках с магнитным удержанием плазмы выполнены условия, при которых энергия, выделившаяся в результате термоядерной реакции, сравнялась с энергетическими затратами на нагрев плазмы.

Проекту ИТЭР, в рамках которого планируется создать термоядерный реактор на базе концепции токамака, будет посвящён отдельный доклад. В основе работы ИТЭР лежит термоядерная реакция слияния изотопов водорода — дейтерия и трития с образованием гелия и высокоэнергетического нейтрона (14,1 МэВ), для чего дейтерий-тритиевая смесь должна быть нагрета до температуры более 100 млн °С. При этом смесь превращается в плазму из положительно заряженных ядер водорода и электронов. В такой разогретой плазме энергии дейтерия и трития достаточно, чтобы начались термоядерные реакции слияния с образованием гелия и нейтрона. В этом состоят важные особенности энергетической науки: построение новых энергетических схем на-

прямую связано с прогрессом в использовании и получении экстремальных состояний вещества.

Для развития атомной отрасли необходимо изучать свойства высокотемпературной плазмы, рабочие среды и материалы, которые держат высокие температуры и могут быть полезны для организации энергетики будущего. В академических институтах работают установки, позволяющие исследовать при помощи взрывов и лазеров плавление образцов, теплофизику облучённых тепловыделяющих элементов. Кроме того, сейчас предлагаются новые виды топлива, например, керамическое топливо, которое может быть использовано в ядерных технологиях. В его состав входят делящиеся материалы, имеющие высокую температуру плавления. Это требует фундаментальных исследований. Академия наук вполне может занять достойное место в данном направлении.

Я уже говорил о высокой конкуренции в мире за источники энергии. Чтобы выдержать эту конкуренцию, в атомной энергетике надо создавать новые технологии и материалы, проводить тонкие квантово-механические расчёты, которые являются основой для проектирования новых сред, работающих в экстремальных условиях. Об этом речь пойдёт в докладе первого заместителя генерального директора АО "Наука и инновации" Госкорпорации "Росатом" доктора технических наук Алексея Владимировича Дуба.

Наконец, с развитием компьютерных технологий и ростом вычислительной мощности всё более актуальным становится математическое моделирование энергетических устройств. В РАН есть возможность делать это на высоком уровне.

Я попытался рассказать о том, что энергетика — наука синтетическая. Она затрагивает и использует фактически все системы научных знаний. Национальный проект "Наука", когда он будет реализован (я надеюсь на это), позволит наладить дружную работу между отраслями промышленности и всеми отделениями Академии наук.

OPENING SPEECH OF THE CHAIRMAN OF THE PRIORITY COUNCIL OF RAS ACADEMICIAN V.E. FORTOV

Received: 03.12.2018

Accepted: 25.12.2018

Keywords: energy, grand challenges, energy modernization, combined steam-gas cycle plants, technology of production, exploration, gas and oil recovery from complex geological structures, deep oil and gas processing, distributed energy, nuclear energy, thermonuclear synthesis, mathematical modeling of energy systems.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ДОБЫЧИ, ТРАНСПОРТИРОВКИ И ПЕРЕРАБОТКИ ПРИРОДНОГО ГАЗА

© 2019 г. О.Е. Аксютин

Публичное акционерное общество "Газпром", Москва, Россия

E-mail: T.Diveeva@adm.gazprom.ru

Поступила в редакцию 03.12.2018 г.
Поступила после доработки 03.12.2018 г.
Принята к публикации 25.12.2018 г.

Переход к экологически чистой и ресурсосберегающей энергетике, повышение эффективности добычи и глубокой переработки углеводородного сырья — одно из приоритетных направлений научно-технологического развития России. Его реализация способна не только создать сбалансированный, устойчиво развивающийся сектор исследований и разработок в этой области, но и обеспечить конкурентоспособность компаний, работающих на мировом газовом рынке. Это обуславливает потребность крупнейшей транснациональной энергетической корпорации "Газпром" в тесном взаимодействии с Российской академией наук. Ещё в 2002 г. правление компании и президиум РАН приняли Программу фундаментальных и прикладных исследований институтов РАН, в рамках которой научные коллективы академии выполнили комплекс работ по важнейшим проблемам развития добычи газа в стране. В 2017 г. Программа научных исследований и разработок в интересах ПАО "Газпром" была актуализирована и направлена на дальнейшее развитие энергетической и промышленной инфраструктуры России, создание фундаментального базиса новых технологий, разработку и внедрение инновационных продуктов и услуг на объектах добычи, транспортировки и переработки газа.

Ключевые слова: Единая система газоснабжения России, перспективное развитие, природоохранная деятельность, научно-исследовательская деятельность, потенциал отечественной фундаментальной науки, научно-техническое сотрудничество ПАО "Газпром" и РАН, приоритетные проблемы развития добычи газа.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-5873894321-325>

ПАО "Газпром" — один из крупнейших в мире поставщиков энергоресурсов. Такого положения дел компания добилась благодаря использованию в своей деятельности достижений науки и техники, проведению научно-исследовательских, прикладных и опытно-конструкторских работ, ставших базой для создания принципиально новых технологий, повышающих эффективность производства в газовой отрасли.

ПАО "Газпром" занимает первое место по запасам и объёмам добычи природного газа. Действующий фонд его скважин составляет более 7 тыс. единиц. Компания эксплуатирует уникальную по размерам и качественным параметрам газотранспортную систему протяжённостью более 172 тыс. км, способную 4 раза опоясать Землю по экватору, и активно строит морские газопроводы. В транспортировке газа задействовано более 250 компрессорных станций, мощность которых

сопоставима с суммарной мощностью восьми крупнейших в мире АЭС. С учётом ярко выраженной сезонной неравномерности спроса на голубое топливо ПАО "Газпром" развивает систему подземных хранилищ газа. Благодаря централизованному управлению, большой разветвлённости Единая система газоснабжения России обладает существенным запасом прочности и эффективно обеспечивает бесперебойную поставку газа даже при пиковых сезонных нагрузках.

Я курирую в компании инновационную программу, перспективное развитие, природоохранную и научно-исследовательскую деятельность. Реализация этих направлений немыслима без использования уникального потенциала отечественной фундаментальной науки.

Научно-техническое сотрудничество ПАО "Газпром" с Российской академией наук началось в апреле 2002 г., когда на совместном заседании правление компании и президиум академии приняли Программу фундаментальных и прикладных исследований институтов РАН по приоритетным

АКСЮТИН Олег Евгеньевич — член-корреспондент РАН, член правления, начальник департамента ПАО "Газпром".

проблемам развития добычи газа в стране, к выполнению которой были привлечены несколько десятков научных коллективов. В 2005 г. партнёрские отношения между ПАО "Газпром" и РАН укрепились благодаря подписанному соглашению о научно-техническом сотрудничестве. Для взаимодействия сторон в рамках соглашения был создан Координационный совет по научным исследованиям РАН для ПАО "Газпром", в который на паритетной основе вошли специалисты энергетической компании и Академии наук. К слову, представители академического сообщества (13 академиков, 5 членов-корреспондентов РАН) входят и в состав Научно-технического совета ПАО "Газпром".

Для поддержания позиций глобальной энергетической компании и надёжного поставщика энергоресурсов в июне 2016 г. была утверждена Программа инновационного развития ПАО "Газпром" до 2025 г., где определены научно-технические приоритеты, охватывающие всю производственную цепочку — от поиска и разведки до добычи, транспортировки, хранения, переработки и использования газа. В рамках этой программы необходимо выделить текущие задачи, требующие научно-технических решений с целью:

- обеспечения максимального извлечения газа на месторождениях с падающей добычей;
- освоения месторождений с трудноизвлекаемым газом (метана из угольных пластов, ксенона и др.) при помощи экономически эффективных технологий;
- выявления закономерностей распространения пород-коллекторов газа в древних отложениях и создания новых технологий разработки многопластовых газовых месторождений.

Кооперация с наукой в этих вопросах может дать хороший результат, значительно усовершенствовав добычу газа, повысив её эффективность, вовлекая при этом в экономику ресурсы, которые остаются сейчас в недрах.

Как приоритетную задачу следует рассматривать изучение металлургических аспектов надёжности самой протяжённой в мире газотранспортной системы. Мы занимаемся этим многие десятилетия, но нужны инновационные подходы.

Своё присутствие на мировом газовом рынке ПАО "Газпром" планирует наращивать за счёт оптимального сочетания поставок трубопроводного и сжиженного природного газа, поэтому как никогда актуальна проблема создания новых материалов и оборудования для производства СПГ. Пока наше отечественное производство отстаёт, но наука может дать импульс развитию данной отрасли.

В России разрабатываются крупные месторождения сероводородсодержащего газа. Следовательно, нужны энергоэффективные технологии очистки природного газа и продуктов его переработки от сераорганических соединений и кислых компонентов. Именно вопросы извлечения и использования серы являются лимитирующими для развития Астраханского и Оренбургского газоконденсатных месторождений. Кроме того, широкомасштабное внедрение таких технологий способно существенно повысить экологическую безопасность разработки подобных месторождений.

Для ПАО "Газпром" как энергетической компании важна деятельность в области энергосбережения. Наибольший энергосберегающий эффект достигается за счёт внедрения инновационных технологий, использующих вторичные энергетические ресурсы, а именно тепло отходящих газов компрессорных станций и перепад давления в трубопроводах. С учётом количества газотурбинных агрегатов, применяемых в транспортировке газа, и газораспределительных станций масштаб тиражирования подобных технологий огромен.

Особое внимание хочу обратить на проблемы глубокой переработки газа. Освоение ресурсов Восточной Сибири и строительство магистрально-





го газопровода "Сила Сибири" дали старт созданию крупнейшего в России предприятия по переработке газа — Амурского ГПЗ. Этот завод необходим для подготовки многокомпонентного газа, который поступает с Якутского и Иркутского центров газодобычи, создаваемых ПАО "Газпром" в рамках реализации Восточной газовой программы. Товарной продукцией Амурского ГПЗ будут метан, этан, пропан, бутан, пентан-гексановая фракция и гелий. Вместе с тем в настоящее время существует очевидный разрыв между теоретической наукой и практическим использованием (внедрением). Виден явный дефицит опытно-экспериментальной базы и инфраструктуры внедрения. Есть отставание в деятельности по моделированию процессов. Именно эта сфера — одна из самых перспективных с точки зрения продвижения российских технологий, то есть импортозамещения.

Перечислю ключевые направления научно-технического развития в области глубокой переработки газа:

- создание новых технологий выделения из добываемого природного газа этана, пропана, бута-

на, пентан-гексановой фракции и гелия — ценных компонентов для газохимической и других отраслей промышленности;

- стимулирование инноваций в производстве традиционных и новых продуктов переработки природного газа — метанола, диметилэфира, полимеров и пластиков;

- создание отечественных экономически эффективных и экологически приемлемых технологий "газ в жидкость" (Gas to liquids — GTL), которые имеют большой потенциал на рынке.

Цифровые технологии — уже неотъемлемая часть нашего мира, и лидерство компании невозможно без внедрения автоматизированных и интеллектуальных систем контроля и управления. Сегодня к актуальным направлениям в данной сфере относятся:

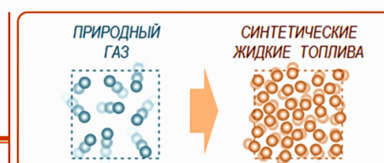
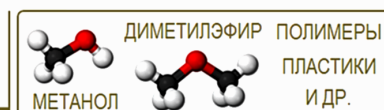
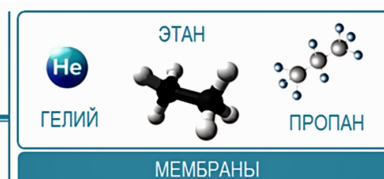
- создание моделей и выполнение экспериментальных исследований процессов, протекающих в природной среде;

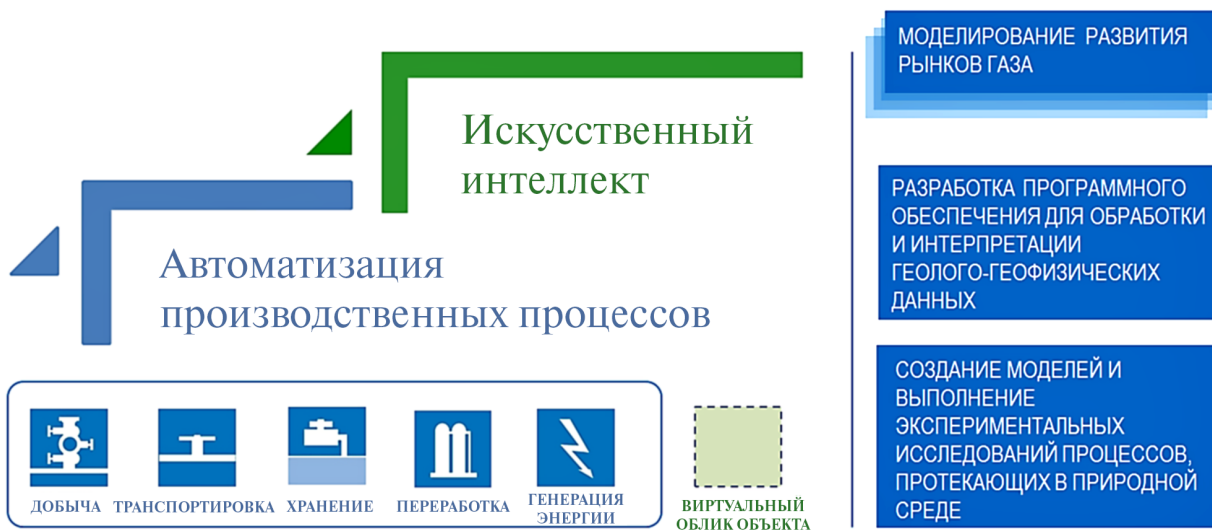
- разработка программного обеспечения для обработки и интерпретации геолого-геофизических и других данных.

НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ВЫДЕЛЕНИЯ КОМПОНЕНТОВ ПРИРОДНОГО ГАЗА

ИННОВАЦИИ В ПРОИЗВОДСТВЕ ТРАДИЦИОННЫХ И НОВЫХ ПРОДУКТОВ ПЕРЕРАБОТКИ ПРИРОДНОГО ГАЗА

ЭКОНОМИЧЕСКИ ЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ «ГАЗ В ЖИДКОСТЬ» (GTL)





Реализация этих задач будет содействовать созданию виртуальных обликов производственных объектов, что ускорит разработку новых образцов техники, процессы проектирования и строительства.

В среднесрочной перспективе нам необходимо решить научно-технические задачи, связанные с созданием:

- технологий получения метано-водородных смесей без выделения CO_2 с помощью крекинга, пиролиза метана, плазмохимии (метано-водородное топливо — новый низкоэмиссионный продукт, применение которого позволит снизить токсичность и объём выбросов парниковых газов, эксплуатационный расход топлива и повысить экономичность промышленных процессов);
- адсорбционных технологий хранения и транспортировки газа с использованием металлоорганических структур, сорбентов на основе углей, торфа, графена и т. д., которые значительно оптимизируют процесс хранения, но требуют повыше-

ния сорбционной ёмкости хранилищ и снижения стоимости сорбента;

- цифровых моделей месторождений и подземных хранилищ газа, что в ближайшем будущем станет неотъемлемым требованием при проведении геологических работ;
- мембранных технологий подготовки жирного газа к транспортировке, что особенно актуально при разработке новых месторождений Западной и Восточной Сибири.

К перспективным поисковым работам, требующим участия РАН, на наш взгляд, относятся:

- создание технологий освоения месторождений Арктики, Восточной Сибири, континентального шельфа — это не просто научная, а стратегическая задача развития страны;
- создание интеллектуальной системы оперативного геолого-технологического мониторинга, перспективного планирования и управления производственной деятельностью.



Без развития искусственного интеллекта отрасль обречена на отставание, и мы будем активно содействовать внедрению интеллектуальных систем.

Научно-техническое партнёрство РАН и ПАО "Газпром" способствует успешной трансформации результатов фундаментальных исследований

в разработки прикладного характера. Надеемся, что участие академической науки в решении научно-технических проблем добычи, транспортировки и переработки газа создаст синергетический эффект, ориентированный на устойчивое развитие научного комплекса и энергетического сектора России.

SCIENCE & TECHNOLOGY ISSUES ASSOCIATED WITH NATURAL GAS PRODUCTION TRANSMISSION AND PROCESSING

© 2019 O.E. Aksyutin

Gazprom, Moscow, Russia

E-mail: T.Diveeva@adm.gazprom.ru

Received: 03.12.2018

Revised version received: 03.12.2018

Accepted: 25.12.2018

National priorities for science and technology development in Russia include the transition to green and resource-conscious energy, improving the efficiency of production, and deep conversion raw hydrocarbon materials. Plans to encourage these developments will encourage a harmonious and sustainable research and development sector for the energy industry, and will also encourage that Russian companies participating in the global natural gas market maintain a competitive edge. Gazprom, as the largest transnational energy corporation, will need to cooperate closely with the Russian Academy of Sciences. In 2002, the Gazprom Management Committee and the Presidium of RAS adopted the Basic and Applied Research Program for RAS institutes, which guided research teams of the Academy in completing a package of work focused on the most important development problems in the country's natural gas production. The R&D Program for Gazprom was updated in 2017 and is focused on the development of energy and industrial infrastructure in Russia. This R&D program forms a pillar that supports emerging technologies and the development and adaptation of innovative products and services for use in natural gas production, transmission, and processing facilities.

Keywords: Unified Gas Supply System of Russia, prospective development, environmental activities, research activities, goals for national basic sciences, cooperation for science and technology between Gazprom and RAS, leading development problems in natural gas production.

РАСПРЕДЕЛЁННАЯ ЭНЕРГЕТИКА НА ОСНОВЕ ПЕРЕДОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ЦИФРОВЫХ СИСТЕМ

© 2019 г. А.М. Кашин

Группа компаний "ИнЭнерджи", Москва, Россия

E-mail: yu.tkachuk@inenergy.ru

Поступила в редакцию 03.12.2018 г.
Поступила после доработки 03.12.2018 г.
Принята к публикации 25.12.2018 г.

По уровню развития электрохимических технологий Россию в мировом рейтинге технологически развитых стран Азии, Северной Америки и Европы относят к категории Rest Of World (остальной мир), в то время как наша страна располагает исключительными предпосылками для выхода на лидирующие позиции в этой сфере. Группа компаний "ИнЭнерджи", специализирующаяся на электрохимических технологиях и уникальных промышленных решениях на их основе, формирует среду, связывающую науку, производство и глобальный рынок в единое пространство. Для этой цели она создала Распределённый центр исследований и разработок, где сосредоточены компетенции мирового уровня в области топливных элементов и систем электропитания различного назначения. Кроме того, в рамках формируемой сейчас Комплексной научно-технической программы "Распределённая энергетика на основе передовых технологий и цифровых систем" предлагается рассмотреть проект "Электрохимия", построенный на сетевых принципах и призванный обеспечить не просто импортозамещение, а импортоопережение, то есть разработку и внедрение электрохимических технологий, замещающих не сегодняшний импорт, а тот, который мог бы нам понадобиться завтра. Скоординированная с наукой деятельность открывает новые технологические возможности, эффективное использование которых способно выдвинуть Россию на лидирующие позиции мирового рынка химических источников тока.

Ключевые слова: научно-техническая программа, распределённая энергетика, электрохимия, электрохимические технологии, топливные элементы, накопители энергии, мобильные источники энергии, цифровые системы, проект "Электрохимия".

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-5873894326-330>

Прошедшие два десятилетия можно смело назвать эрой информационных технологий — так прочно вошли они в нашу жизнь, кардинально преобразив современный мир. Косвенно это подтверждается тем, что сейчас на мировом рынке крупнейшие по капитализации компании работают в сфере информационных технологий. На наш взгляд, следующие десятилетия могут стать для всего мира эпохой энергетической революции. Происходящие в последние годы фундаментальные сдвиги в энергетике дают всё больше оснований для такого утверждения. Отрасль стоит на пороге нового технологического уклада. Повышается эффективность использования топлива, что снижает экологическую нагрузку на окружающую среду, развивается распределённая генерация, всё больше энергии поступает из возобновляемых источников, растёт доля электрического транспорта, персональная мобильность населения

и мобильность инфраструктуры. Весомую роль в этих преобразованиях играют электрохимические технологии, которые обоснованно можно отнести к категории сквозных, так как источники энергии, разрабатываемые на их основе, находят применение практически во всех областях современной техники, а значит, необходимы для многих рынков.

Электрохимическая наука в СССР была одной из самых передовых в мире. Однако в современной России научные школы по-прежнему функционируют, продолжая демонстрировать широкие возможности электрохимии в создании принципиально новых видов технологий и новых источников электрической энергии. Наличие квалифицированных научных и инженерных кадров, ёмкий внутренний рынок, географическое многообразие, хорошая конъюнктура для экспорта продуктов и технологий — всё это создаёт благоприятные условия для возрождения в России высокотехнологичной электрохимической отрасли и обеспечения лидерства на глобальном рынке.

КАШИН Алексей Михайлович — председатель совета директоров ГК "ИнЭнерджи".



Рис. 1. КНТП "Распределённая энергетика", проект "Электрохимия"

Наша задача сегодня — обратить недооценённость электрохимии как науки (в неё до сих пор вкладывали недостаточно средств) и невостребованность кадров, работающих в этой области, в конкурентное преимущество. Предлагаемая Комплексная научно-техническая программа "Распределённая энергетика на основе передовых технологий и цифровых систем" и входящий в её структуру проект "Перспективные электрохимические технологии для распределённой энергетики" ("Электрохимия") призваны решить эту задачу (рис. 1).

Проект "Электрохимия" состоит из четырёх направлений:

- генерация (топливные элементы);
- накопление (металл-ионные накопители энергии);
- топливо (производство и преобразование водородсодержащего топлива);
- системы управления и силовая электроника.

Наиболее развитое среди этих направлений — накопители энергии, представленные в первую очередь литий- и металл-ионными аккумуляторами, а также проточными редокс-батареями. Большой потенциал российских электрохимических технологий в этой области ещё не поздно обратить в рыночный продукт.

Для топливного направления опорным является нефтегазовый сектор экономики — добыча, транспортировка и переработка нефтегазового сырья. Россия имеет и возможности, и большой внутренний рынок для развития технологий получения водородсодержащего топлива.

Что касается систем управления и силовой электроники, то это направление ориентирова-

но на эффективное взаимодействие различных источников энергии в составе комплексных энергоустановок. Первостепенную роль здесь играют элементная база и современное программное обеспечение.

Группа компаний (ГК) "ИнЭнерджи", специализирующаяся на электрохимических технологиях и уникальных промышленных решениях на их основе, делает ставку на фундаментальную науку и сотрудничество с институтами РАН. Сложившаяся модель кооперации мы называем *сетевно-центрической*. Она создавалась вместе с директором Института проблем химической физики РАН академиком С. М. Алдошиным и профессором, доктором химических наук Ю.А. Добровольским в рамках Распределённого центра исследований и разработок (рис. 2). Это своего рода консорциум, состоящий из научных и производственных организаций. Ключевые звенья в нём — лаборатории, которые имеют все компетенции для трансформации фундаментальных знаний в технологии и разработки. С одной стороны, мы занимаемся маркетинговым исследованием научных идей, а с другой — изучаем характеристики рынка, измеряем его потенциальные возможности, анализируем динамику и определяем объёмы реализации проектной продукции. Таким образом, мы собираем информацию, необходимую для обоснованных решений по развитию технологий, востребованных рынком. Иными словами, формируем так называемый технологический коридор для продвижения на рынок конкурентоспособной высокотехнологичной продукции. Группы исследователей, работающие в узких областях, предла-

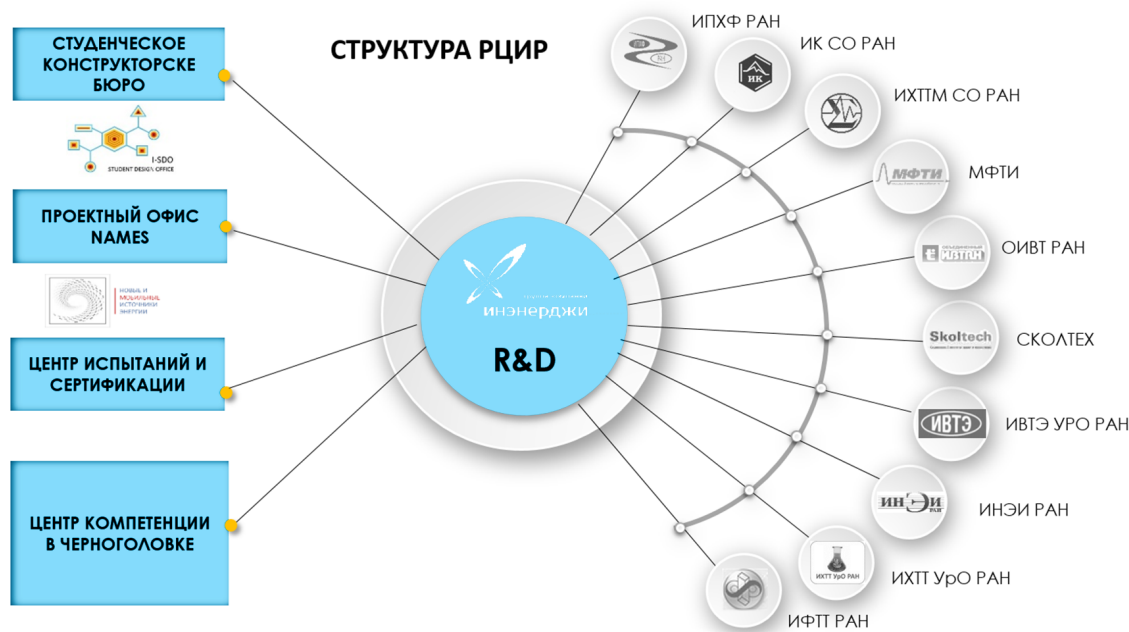


Рис. 2. Распределённый центр исследований и разработок ГК "ИнЭнерджи"

гают конкретные разработки, которые ложатся в основу конечного продукта, новой технологии, способной конкурировать на глобальном рынке.

Перечислю тематики лабораторий, созданных на базе 10 институтов:

- катализаторы и твердополимерные мембраны топливных элементов, энергоустановки с протонообменными полимерными топливными элементами (ПОМТЭ) различного назначения и мощности, проточные редокс-батареи, первичные источники тока — Институт проблем химической физики РАН (г. Черноголовка Московской области);
- топливные процессоры риформинга углеводородных топлив для энергоустановок с топливными элементами — Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН (г. Новосибирск);
- микроканальные твердооксидные топливные элементы (ТОТЭ) — Институт химии твёрдого тела и механохимии СО РАН (г. Новосибирск);
- энергоустановки с топливными элементами для арктического применения — Московский физико-технический институт;
- гибридные энергоустановки, сочетающие возобновляемые источники энергии с электрохимическими генераторами, локальное производство топлив, системы управления распределённой генерацией — Объединённый институт высоких температур РАН (г. Москва);
- электрохимия, проточные редокс-батареи, постлитиевые аккумуляторы — Сколковский институт науки и технологий (г. Москва);
- протонно-керамические топливные элементы и энергоустановки на их основе — Институт

высокотемпературной электрохимии УрО РАН (г. Екатеринбург);

- анализ, определение направлений развития технологий и рынков — Институт энергетических исследований РАН (г. Москва);
- первичные источники тока, высоковольтные электролиты, специальная техника — Институт химии твёрдого тела УрО РАН (г. Екатеринбург);
- планарные ТОТЭ — Институт физики твёрдого тела РАН (г. Черноголовка Московской области).

Распределённый центр исследований и разработок, на наш взгляд, уникален для российских условий, и мы рассматриваем такую структуру как конкурентное преимущество ГК "ИнЭнерджи". Реализуемая в центре модель взаимодействия институтов Российской академии наук с производственными организациями достойна масштабирования, в том числе в рамках комплексных научно-технических программ. Дополню, что "ИнЭнерджи" является промышленным партнёром созданного в Черноголовке на базе Института проблем химической физики РАН Центра компетенций по технологиям новых и мобильных источников энергии, который занимается развитием сквозных технологий, и оператором Проектного офиса "Новые и мобильные источники энергии" (NAMES). Кроме того, ГК "ИнЭнерджи" создала Студенческое конструкторское бюро — научно-исследовательское объединение студентов лучших технических вузов Москвы (МФТИ, МЭИ и МАИ) — для разработки проектов на ранних стадиях развития, а также Центр испытаний и сертификации, который

оказывает комплекс услуг по лицензированию, декларированию, сертификации, испытаниям продукции и оборудованию. Всё это вкуче позволяет формировать наиболее востребованные рынком исследования и разработки и создавать новые рыночные ниши.

Чтобы образовалось связующее звено между наукой и рынком, нам нужно отчётливо понимать структуру добавленной стоимости, то есть составляющие затрат на протяжении всего жизненного цикла продукта. Это ключевая компетенция ГК “ИнЭнерджи”, которая служит основой для создания устойчивых конкурентных преимуществ компании и инструментом влияния на мировой рынок электрохимических систем.

Проведённая нами аналитическая работа позволила определить вектор технологического развития компании — среднесрочный до 2025 г. и долгосрочный до 2040 г. Как и проект “Электрохимия”, входящий в структуру Комплексной научно-технической программы “Распределённая энергетика на основе передовых технологий и цифровых систем”, он направлен на воссоздание электрохимических технологий как части энергетической промышленности страны, на повышение роли малой распределённой генерации в российской электроэнергетике. Подчеркну, что мы решаем задачу государственного уровня — стремимся обеспечить не просто комплексное импортозамещение в отрасли, чем сегодня озабочена вся страна, а импортоопережение, то есть создание и внедрение общемирового конкурентоспособного продукта.

Глобальный рынок электрохимических технологий только формируется, однако можно выделить основные его тенденции. Во-первых, мы наблюдаем устойчивый рост ввода в эксплуатацию энергоустановок на топливных элементах (ТЭ) — этот показатель увеличился с 37 МВт в 2007 г. до 710 МВт в 2017 г., то есть в 18 раз. Всего в мире за указанный период введено в эксплуатацию более 2,4 ГВт таких установок. Во-вторых, стремительно растёт спрос на транспортные ТЭ — с 6 МВт в 2007 г. он поднялся до 456 МВт в 2017 г., то есть увеличился в 75 раз.

В крупномасштабном производстве энергетических установок на основе топливных элементов лидируют США, Япония, Китай и страны Западной Европы. В каждой из них существует система государственной поддержки развития рынка технологий топливных элементов. Самый большой объём финансирования — 3,38 млрд долл. — имеет государственно-частный проект ENE.FARM (Япония). Его ключевые участники — компании Tokyo GAS, Panasonic, Toshiba и Aisin Seiki — занимаются разработкой и внедрением когенерационных систем на ТЭ для частных до-

мовладений. Благодаря преференциям, которые получают пользователи при покупке энергоустановок с топливными элементами, формируется рыночная ниша, стимулирующая производство таких систем. В Японии уже эксплуатируется 230 тыс. когенерационных энергоустановок с ТОТЭ и ПОМТЭ, к 2020 г. планируется довести их численность до 1,4 млн, а к 2030 г. — до 5,3 млн, что позволит оборудовать подобными устройствами около 10% всех домохозяйств. Организован экспорт энергоустановок в страны Западной Европы, где, как и в Японии, используется инструмент государственной поддержки.

Бюджет европейского проекта ENE.FIELD по внедрению когенерационных систем на ТЭ для частных домовладений составляет 2,414 млрд долл. В США на программу SECA (Solid State Energy Conversion Alliance), цель которой — разработка и промышленный выпуск энергосистем на базе ТОТЭ, выделено 2,534 млрд долл. Интересен в этом смысле опыт Китая. Более 10 лет назад руководство страны поставило перед наукой задачу развивать фотовольтаику — направление оптоэлектроники, суть которого состоит в эффективном преобразовании света в электрическую энергию. Достижения в данной области действительно способны сделать солнечные батареи экономически выгодными и, как следствие, уменьшить человеческое влияние на окружающую среду. Многие считали, что Китаю не угнаться за Европой, где фотовольтаикой занимаются десятки коллективов и фирм. Но китайцы смогли не просто догнать, но и опередить конкурентов, заняв первое место в производстве и использовании солнечных элементов. С ветроэнергетикой ситуация аналогичная. Два года назад китайцы обратили внимание на электрохимию, в частности на развитие накопителей и топливных элементов. В государственную программу ускорения развития и коммерциализации топливных элементов (Accelerating the commercialization of fuel cell) уже инвестировано около 1,5 млрд долл.

Нам полезно использовать положительный зарубежный опыт. Для этого ГК “ИнЭнерджи” детально проанализировала организацию разработок и механизмы продвижения продукции на рынок, разобралась в структуре консорциумов, создающих передовые технологии, узнала, как распределяются в таких коллективах роли. Эта информация и опыт, полученный в ходе реализации пилотных проектов, в значительной степени легли в основу Комплексной научно-технической программы “Распределённая энергетика на основе передовых технологий и цифровых систем”.

Как правило, наукоёмкая продукция для глобальных рынков на ранних стадиях производства имеет высокую себестоимость, поэтому разра-

ботанную технологическую платформу сначала уместно опробовать на так называемых промежуточных рынках, где уже сегодня можно получить ярко выраженный экономический эффект. Например, для энергоустановок с ТОВЭ промежуточным является рынок нефтегазовой отрасли. Несколько наших энергоустановок, эксплуатируемых на магистральных трубопроводах ПАО “Газпром”, в качестве топлива используют природный газ, что позволило отказаться от строительства ЛЭП в полосе отчуждения газопровода и получить впечатляющий экономический эффект. Да, это узконаправленный рынок, хотя и довольно ёмкий (речь идёт о десятках и сотнях тысяч энергоустановок). Но, освоив его, усовершенствовав конструкцию и технологию, организовав крупносерийное производство и снизив стоимость изделий, можно, по примеру Японии и стран Западной Европы, выйти с этой плат-

формой на более ёмкий рынок когенерационных энергоустановок для домохозяйств.

Перспективные электрохимические технологии для распределённой энергетики должны войти в число приоритетных направлений инновационного развития РФ. Наличия внутренних стимулов и квалифицированных научных и инженерных кадров недостаточно для создания высокотехнологического продукта. Здесь решающей движущей силой могут стать внешние стимулы, в частности государственная поддержка. Но пока мы отмечаем, что технологическая политика государства в этой сфере слабо скоординирована с наукой и производством. Считаем, что реализация Комплексной научно-технической программы “Распределённая энергетика на основе передовых технологий и цифровых систем” обеспечит условия для совместной деятельности государства, институтов-разработчиков и промышленных предприятий.

DISTRIBUTED GENERATION BASED ON CUTTING-EDGE TECHNOLOGY AND DIGITAL SYSTEMS

© 2019 A.M. Kashin

Chairman of the Board of Directors InEnergy Group, Moscow, Russia

E-mail: yu.tkachuk@inenergy.ru

Received: 03.12.2018

Revised version received: 03.12.2018

Accepted: 25.12.2018

In rankings of technologically advanced Asian, North American, and European countries for their achievements in electrochemical technology, Russia usually finds itself in the ROW (Rest-of-the-World) category. However, our country is exceptionally well-positioned to take a leadership role in this field. Russia's InEnergy Group, with its core business of developing electrochemical technology and providing unique electrochemical solutions to individual businesses, has created a favorable environment for drawing science, manufacturing, and the global market together. To that end, the Group has established a Distributed Research and Development Center, which has assembled world-class experts in fuel cells and multi-purpose power-supply systems. In addition, the Group has considered the Electrochemistry project as part of a Comprehensive Research Program, called Distributed Generation based on Cutting-Edge Technologies and Digital Systems, which is presently in the drafting stage. The project is designed around the concept of network-centric design and is expected to outpace rather than merely replace imports. In other words, the project will support the development and deployment of electrochemical technologies to compensate for imports that might be needed even in the future. This industrial effort, coordinated with research in the academic community, will create new technological opportunities that might propel Russia into a leading position in the global market for chemical sources of electric power.

Keywords: research program, distributed generation, electrochemistry, electrochemical technologies, fuel cells, energy storage units, portable energy sources, digital systems, Electrochemistry Project.

РАЗВИТИЕ ГАЗОТУРБИННЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ В РОССИИ

© 2019 г. Ю.К. Петреня

Публичное акционерное общество "Силовые машины", Санкт-Петербург, Россия

E-mail: petrenya_yk@power-m.ru

Поступила в редакцию 03.12.2018 г.
Поступила после доработки 03.12.2018 г.
Принята к публикации 24.12.2018 г.

Газ играет важнейшую роль в топливно-энергетическом балансе стран — крупнейших потребителей энергии — России, США и Европы. Эффективность энергетических ресурсов во многом обеспечивается за счёт применения газотурбинных технологий, которые достигли высокого уровня развития. Россия обладает опытом газотурбостроения, научным и промышленным потенциалом в этой области, однако до сих пор не имеет соответствующей государственной программы. Для обеспечения энергобезопасности и научно-технологического развития Российской Федерации, решения перспективных задач энергетики XXI века предлагается сформировать и реализовать под научно-методическим руководством Отделения энергетики, машиностроения, механики и процессов управления РАН комплексную научно-технологическую инвестиционную программу (национальный проект) по разработке и освоению отечественных газотурбинных энергетических технологий.

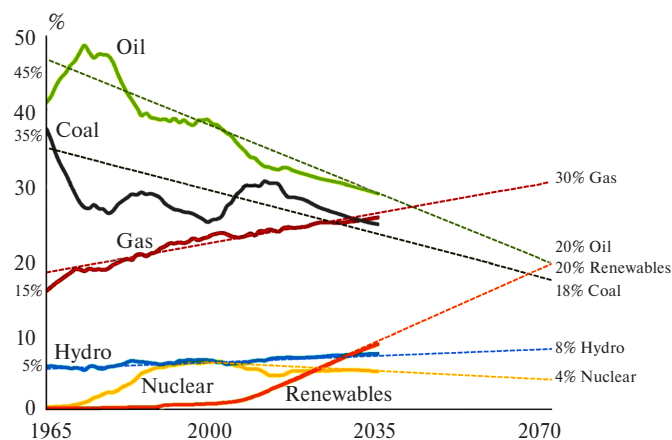
Ключевые слова: газовые энергетические турбины, современная и перспективная энергетика, энергоэффективность, энергобезопасность, фундаментальные исследования, комплексная научно-технологическая инвестиционная программа (национальный проект).

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-5873894331-334>

Газотурбинные энергетические технологии — одна из важнейших составляющих современной и перспективной энергетики. Это определяется ролью, которую играет газ в топливно-энергетическом балансе индустриально развитых стран. В топливном балансе России доля газа составляет примерно 50%, США и Европы — более 40% и 20% соответственно. Таким образом, внедрение в энергетику установок, основанных на применении парогазового цикла, уже сегодня обещает большие выгоды [1–8]. И актуальность этого направления будет возрастать, так как к 2070 г. доля газа в мировом топливном балансе достигнет примерно 30% при одновременном росте новых генерирующих мощностей. Если в 1965 г. общая мощность газовой генерации в мире составляла 0,11 ТВт, а в 2015 г. — около 1,29 ТВт, то к 2035 и 2070 годам она достигнет 2,49 и 4,38 ТВт соответственно, то есть рынок газотурбинных энергетических технологий станет одним из самых быстрорастущих в мировом энергомашиностроении (рис.) [1–5].

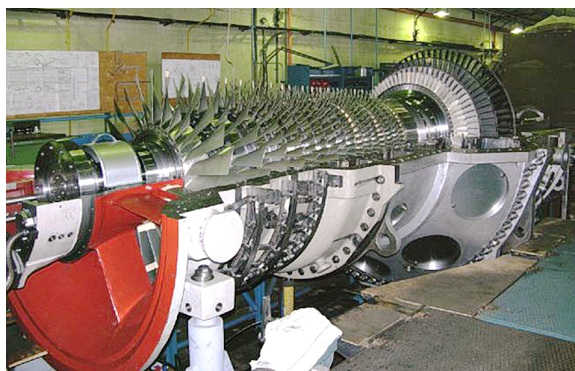
Россия обладает опытом создания и применения газовых турбин большой мощности. В 1960–1970-е

годы на Ленинградском металлическом заводе разработали и внедрили рекордную по мощности (100 МВт) газовую турбину ГТ-100. В последние десятилетия отечественные энергомашиностроители освоили производство лицензионных газовых турбин Е-класса мощностью 160 МВт, разработали и испытали в условиях станции газовую турбину ГТ-65, предложили проекты турбин мощностью 180 МВт (ЛМЗ — ОАО "Авиадвигатель") и 170, 300 МВт (ПАО "Силовые машины") [9–13].



Доля газа в мировом топливном энергетическом балансе

ПЕТРЕНЯ Юрий Кириллович — член-корреспондент РАН, заместитель генерального директора — технический директор ПАО "Силовые машины".



Газовая энергетическая турбина ГТЭ-65 ПАО "Силловые машины"

В конце 2000-х годов в нашей стране развернулась масштабная работа по реконструкции действующих и строительству новых энергоблоков, которая осуществлялась по договорам о поставке мощности (ДПМ). В результате теперь 12% электроэнергии России вырабатывается на станциях, где установлены зарубежные газовые турбины большой мощности и парогазовые установки на их основе, что создаёт существенные риски для энергобезопасности страны. Эта проблема обостряется на фоне санкционной и запретительной политики западных стран, которая проявилась при поставках газовых турбин в Крым.

Ещё одна угроза надёжному функционированию энергетической сферы страны — технологическая монополизация рынка мощных (более 300 МВт) газовых турбин. Разработчиками и производителями таких установок являются только три компании — General Electric (США), частью которой стала Alstom, Siemens (Германия) и Mitsubishi Heavy Industries (Япония) [14–16].

Газотурбинным технологиям отводится особая роль в развитии перспективной энергетики. В течение ближайших десятилетий будет осуществляться переход от моноцелевых монотопливных электростанций к многоцелевым многотопливным энергохимическим комплексам, ключевым элементом которых станут газовые энергетические турбины большой мощности с высоким уровнем температуры на входе. В этих условиях отечественное энергомашиностроение должно

располагать газовыми турбинами и парогазовыми установками, способными обеспечивать энергоэффективность и энергобезопасность российской энергетики и конкурировать на мировом энергетическом рынке.

По совокупности решений, объединённых в систему, газовые турбины — один из самых сложных технических объектов, созданных человечеством, тем не менее есть резервы для их совершенствования. За последние 50 лет в области газотурбостроения произошли существенные перемены. Единичная мощность турбоагрегатов выросла со 100 до 500 МВт, коэффициент полезного действия парогазовых установок на их базе достиг 62%. Классы газотурбинных энерготехнологий и температуры на входе в газовую турбину и выходе из неё представлены в таблице. Для J-класса температура на входе может достигать 1700°C. Поскольку входной барьер в газотурбинные технологии достаточно высокий, необходимы крупные инвестиции в опытно-конструкторские работы на этапе разработки оригинального продукта, школа проектирования, конструкторский задел, современная технологическая база и сервисная служба.

Вопрос о развитии отечественных газотурбинных технологий Российская академия наук ставила неоднократно. В 2014 г. академик РАН В.Е. Фортков, министр энергетики РФ А.В. Новак и министр промышленности и торговли РФ Д.В. Мантуров направили Президенту РФ В.В. Путину обращение на эту тему и получили от него поддержку. Ряд обращений по этому поводу подготовил и направил в Правительство РФ и ведомства академик РАН О.Н. Фаворский. Соответствующие рекомендации выработала Комиссия по газовым турбинам РАН, которую возглавляет член-корреспондент РАН Г.Г. Ольховский. Недавно по теме газовых энергетических турбин выказался Совет РАН по приоритетному направлению научно-технологического развития РФ "Переход к экологически чистой энергетике, повышение эффективности добычи и глубокой переработки углеводородного сырья, формирование новых источников, способов транспортировки и хранения энергии" под председательством академика

Классы газотурбинных энерготехнологий

Класс газотурбинной технологии	Температура на входе в газовую турбину, °C	Температура на выходе газовой турбины, °C	Класс параметров котла-утилизатора, паровой турбины в составе ПГУ
E	≤ 1150	500–540	SC (Supercritical)
F	1150–1300	600	USC (Ultra-Supercritical)
H	1300–1500	640	A-USC (Advanced Ultra-Supercritical)
J	1500–1700	680	A-USC (Advanced Ultra-Supercritical)

РАН В.Е. Фортова. В Академии наук разработаны предложения по модернизации тепловой энергетики страны, в том числе касающиеся применения газотурбинной надстройки с паротурбинным блоком повышенной эффективности тепловой электростанции (патент на изобретение № 2269009 академика РАН О.Н. Фаворского, члена-корреспондента РАН Ю.К. Петрени и др.).

Учитывая высокую актуальность создания мощных энергетических газовых турбин и их важность для безопасности и экономики страны, необходимо сформировать и реализовать комплексную научно-техническую инвестиционную программу (национальный проект) по разработке и освоению отечественных газотурбинных энергетических технологий. Она должна опираться на передовые фундаментальные исследования и прикладные работы, что позволит в сжатые сроки выйти на мировой уровень газотурбинных энергетических технологий. Фундаментальные исследования необходимо сосредоточить в первую очередь на получении новых знаний в области аэродинамики различных узлов газовой турбины. Это даст возможность полно описать аэродинамические условия в компрессоре, камере сгорания и турбине, в системах охлаждения на базе верифицированных кодов и программных комплексов. Другое направление фундаментальных исследований касается изучения физико-химических и теплофизических процессов в камерах сгорания, в том числе при использовании низкотеплотного синтез-газа с добавлением водорода и применении мембранных технологий. Создание газовых турбин нового поколения, способных работать при температуре 1700 °С, требует разработки перспективных материалов, включая керамические, и функциональных покрытий для элементов горячего тракта, а также использования аддитивных технологий [17–18]. Для уменьшения финансовых и временных затрат необходимо развивать методы решения связанных (мультидисциплинарных) задач и сквозного суперкомпьютерного проектирования, что обеспечит испытание и доводку газовой турбины большой мощности в виртуальном пространстве. Фундаментальные исследования по этим и другим направлениям могут быть выполнены силами академической и вузовской науки.

Позуловые научно-исследовательские, опытно-конструкторские работы и стендовые испытания диктуют необходимость участия в программе отраслевой науки и высокотехнологичных компаний, бизнес которых сосредоточен в сфере энергомашино- и авиадвигателестроения. Надёжность эксплуатации мощных газовых турбин должна обеспечиваться системой автоматического управления, мониторинга и диагностики, построенной на базе динамических математических моделей, специальных алгоритмов и компьютерных тех-

нологий. При изготовлении деталей и заготовок газовых турбин (лопаток, дисков, ротора и т. п.) следует опираться на перспективные металлургические технологии, разрабатываемые высокотехнологичными компаниями в кооперации с академической, вузовской и отраслевой наукой. Широкое сотрудничество научных, производственных и эксплуатирующих организаций требуется также при решении проблем, связанных с эксплуатацией, сервисом и восстановительным ремонтом перспективных газовых турбин.

Перечислим основные этапы освоения отечественных газотурбинных энерготехнологий:

- 1-й этап (2022–2023 гг.) – восстановление компетенций в изготовлении газовых турбин Е-класса, включая разработку и серийное производство отечественных газовых турбин средней и большой мощности для обеспечения новой модели энергетического рынка, предусматривающего так называемый механизм ДПМ-штрих, который придёт на смену договору о предоставлении мощности (ДПМ);
- 2-й этап (2018–2028 гг.) – разработка и освоение газовых турбин F/H-класса;
- 3-й этап (2018–2033 гг.) – разработка и освоение газовых турбин J-класса.

Финансирование 1-го этапа национального проекта может осуществляться за счёт бюджетных средств и средств ПАО "Силовые машины".

Комплексная научно-технологическая инвестиционная программа (национальный проект) по разработке перспективных газовых турбин отвечает интересам Российской Федерации и необходима для повышения конкурентоспособности и экспортного потенциала отечественной промышленности, решения текущих и перспективных задач энергетики XXI века. Мультидисциплинарный проект, имеющий основополагающее значение для экономики и энергобезопасности страны, требует бюджетных инвестиций и поддержки Правительства РФ, профильных министерств, индустриальных партнёров. Координацию работ по его реализации и кооперацию академической, отраслевой и вузовской науки с промышленностью следует осуществлять под научно-методическим руководством Отделения энергетики, машиностроения, механики и процессов управления РАН.

ЛИТЕРАТУРА

1. International Energy Agency. World Energy Outlook 2018. <https://webstore.iea.org/world-energy-outlook-2018>
2. Энергетическая стратегия России на период до 2035 года. http://www.energystrategy.ru/ab_ins/source/ES-2035_09_2015.pdf
3. Стратегия научно-технологического развития Российской Федерации до 2035 года. <http://sntr-rf.ru/>

- upload/iblock/c80/Указ%20Президента%20РФ%20о%20Стратегии%20научно-технологического%20развития%20Российской%20Федерации.pdf
4. *Фортон В.Е., Попель О.Н.* Энергетика в современном мире. Долгопрудный: Издательский дом "Интеллект", 2011.
 5. *Петреня Ю.К.* По законам физики и экономики // Stimul.online. 2018. <https://stimul.online/articles/interview/po-zakonom-ekonomiki-i-fiziki/>
 6. *Ольховский Г.Г., Тумановский А.Г.* Теплоэнергетические технологии в период до 2030 г. // Известия РАН. Энергетика. 2008. № 6. С. 79–94.
 7. *Фаворский О.Н., Полищук В.Л.* Выбор тепловой схемы и профиля отечественной мощной энергетической ГТУ нового поколения и ПГУ на её основе // Теплоэнергетика. 2010. № 2. С. 2–7.
 8. *Иноземцев А.А., Хайрулин В.Т., Тихонов А.С., Самохвалов Н.Ю.* Совершенствование методик проектирования современных газовых турбин // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета. 2014. № 5(47). С. 139–145.
 9. *Федюк Е.Р.* Научная школа С. А. Христиановича в сфере энергетики // Личность. Культура. Общество. Сборник научных статей. Новосибирск: НГУ, 2010. С. 148–162.
 10. *Schmalzer B.A.* Gas Turbine Boom Begins // International Turbomachinery Handbook. 2008. S. 10.
 11. *Филиппов С. П., Дильман М.Д.* ТЭЦ в России: необходимость технологического обновления // Теплоэнергетика. 2018. № 11. С. 1–18.
 12. *Крюгер В.Д., Сорочан И.П., Петреня Ю.К. и др.* Энергетические газотурбинные установки производства ОАО "Силовые машины" // Газотурбинные технологии. 2009. № 3(74). С. 2–8.
 13. *Лебедев А.С., Симин Н.О., Петреня Ю.К., Михайлов В.Е.* Проект энергетической газотурбинной установки ГТЭ-65 // Теплоэнергетика. 2008. № 1. С. 46–51.
 14. *Кондратьев В.Н., Лебедев А.С., Симин Н.О., Сергеев А.Г.* Газовые турбины "Интертурбо" для блоков ПГУ в России // Электрические станции. 2011. № 7. С. 37–41.
 15. Газовые энергетические турбины GE от 16 до 510 МВт. <https://ge.com/power/gas/gas-turbines>
 16. Газовые турбины Siemens HL-класса – SGT5-8000HL, SGT5-9000HL и SGT6-9000HL. <https://politexpert.net/123615-rekord-proizvoditelnosti-siemens-predstavil-sverkhmoshnuyu-gazovuyu-turbinu>
 17. MHI The state-of-the-art J-series gas turbines with a turbine inlet temperature of 1,600 °C. https://mhi.com/products/energy/gas_turbine.html
 18. *Каблов Е.Н.* Материалы и химические технологии для авиационной техники // Вестник РАН. 2012. № 6. С. 520–530.
 19. *Голубовский Е.Р., Светлов И.Л., Хаццкий К.К.* Длительная прочность никелевых сплавов для монокристаллических лопаток газотурбинных установок // Конверсия в машиностроении. 2005. № 3. С. 60–64.

DEVELOPMENT OF GAS-TURBINE TECHNOLOGIES IN RUSSIA

© 2019 Yu.K. Petrenya

PJSC «Power Machines», St. Petersburg, Russia

E-mail: petrenya_yk@power-m.ru

Received: 03.12.2018

Revised version received: 03.12.2018

Accepted: 24.12.2018

Gas plays the central role in the fuel and energy balance among Russia, USA and Europe. Efficient energy use is encouraged with gas-turbine technologies, which have reached a high level of development. Russia has a great deal of gas-turbine engineering experience and scientific and industrial potential in this area, but has no national program to encourage the development of such technology. To ensure energy security and the scientific and technological development of the Russian Federation, to address the energy problems of the 21st century, we propose the formation of a national program for the development of gas turbines. This program would fall under the scientific and methodological guidance of the Department of Energy, Mechanical Engineering, Mechanics and Management Processes of the Russian Academy of Sciences.

Keywords: gas energy turbines, modern and prospective energy, energy efficiency, energy security, basic research, comprehensive investment research program (national project).

АКТУАЛЬНЫЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

© 2019 г. Ю.А. Оленин, В.И. Ильгисонис

Государственная корпорация по атомной энергии "Росатом", Москва, Россия

E-mail: YuAOlenin@rosatom.ru; vilkie@gmail.com

Поступила в редакцию 03.12.2018 г.
Поступила после доработки 03.12.2018 г.
Принята к публикации 21.01.2019 г.

В работе обсуждаются современные проблемы и перспективы отечественной атомной энергетики¹. Делается вывод о том, что атомная отрасль может выступать мощным драйвером научно-технологического прогресса, механизмом, стимулирующим развитие широкого спектра промышленных и технологических сегментов экономики страны. По материалам доклада на Научной сессии Общего собрания членов РАН 13 ноября 2018 г.

Ключевые слова: атомная энергетика, ядерный реактор, ядерный топливный цикл, реактор на быстрых нейтронах, радиоактивные отходы, отработавшее ядерное топливо, жидкосолевой реактор, атомные станции малой мощности, водородная энергетика, термоядерный синтез.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-5873894335-342>

Интрига настоящего момента для атомной отрасли России заключается в появлении новых тенденций в развитии мировой энергетики, и в первую очередь мировой электроэнергетики, заставляющих переосмыслить типовые прогнозы роста установленных мощностей АЭС, известные с середины XX в. Примечательно, что в основе этих тенденций лежат как разного рода объективные факторы, так и их определённая трактовка, которая не всегда может считаться адекватной.

Во-первых, за последние годы изменилась производная роста объёмов ежегодного производства электроэнергии, стабильно наблюдаемого на протяжении всех лет истории электроэнергетики (рис. 1). Если в начале 1990-х годов этот рост происходил с убыстрением (то есть вторая производная была положительной), то сегодня темпы роста потребления электроэнергии снижаются, на основании чего делается вывод, что не стоит прогнозировать слишком большого увеличения этих объёмов в ближайшей перспективе, тем более если мы говорим о перспективе в десятки лет, а именно такими масштабами оперирует ядерная энергетика.

Во-вторых, наблюдающееся развитие энергосберегающих технологий, особенно технологий

возобновляемых источников энергии, порождает ощущение, что в создании новых энергоисточников нет необходимости и можно обойтись имеющимися мощностями.

В-третьих, имея в виду конкурентные преимущества возобновляемых источников энергии, связанные с экологией и быстротой освоения этих ресурсов, часто делают вывод, что ядерная энергетика из энергетической картины мира может относительно безболезненно быть вытеснена.

Напомним, что в настоящее время в мировом производстве электроэнергии ядерная энергетика составляет около 10%, а в нашей стране — почти 19%. При этом в Европейской части России на атомные электростанции (АЭС) приходится около 40% производства электроэнергии. Немаловажно и то обстоятельство, что сегодня экспорт атомных станций — один из ключевых сырьевых экспортов нашей страны, причём экспортов высокотехнологичных. По объёмам он сопоставим с поставками за рубеж вооружений: на ближайшее десятилетие "Росатомом" уже законтрактовано строительство 36 блоков за рубежом на сумму более 130 млрд долл.

Спрашивается, какие существуют основания рассчитывать на дальнейшее развитие ядерной энергетики и предлагать её в качестве перспек-

ОЛЕНИН Юрий Александрович — доктор технических наук, заместитель генерального директора по науке и стратегии Госкорпорации "Росатом". ИЛЬГИСОНИС Виктор Игоревич — доктор физико-математических наук, директор направления научно-технических исследований и разработок Госкорпорации "Росатом".

¹ Более точен термин "ядерная энергетика", который мы будем употреблять в статье, сохранив одновременно исторически устойчивую терминологию: атомная отрасль, атомная электростанция (АЭС) и т.п.

тивной составляющей российской экономики, учитывая вышеперечисленные тенденции?

В первую очередь не следует забывать, что прогнозы по энергопотреблению в мире могут кардинально поменяться буквально за ближайшее десятилетие. Основания тому — уже начавшаяся в мире масштабная электрификация транспорта, процессы цифровизации, довольно затратные по энергопотреблению, которые идут не только в нашей стране, но и во всём мире. В частности, в Евросоюзе они являются одним из приоритетных направлений научно-технического развития. Наконец, неравномерность развития мировых регионов говорит о том, что потенциал развития электроэнергетики колоссальный: около миллиарда жителей Земли сегодня не обеспечены электроэнергией. Заметим, что произошедший за последние 20 лет более чем трехкратный рост производства и потребления электроэнергии в Азиатском регионе вывел его в число мировых лидеров. Таким образом, если ориентироваться на возможность изменения тенденций в потреблении электроэнергии, то мы придём к тому, что необходимость новой генерации электроэнергии для мировой экономики по-прежнему существенна, и ядерная энергетика может составить значительную составляющую в этой генерации.

Отдельного комментария заслуживает выгода вложений в ядерную энергетiku, поскольку строительство атомной станции — дело, безусловно, очень дорогостоящее. Оно растягивается по окупаемости на десятилетия. Если говорить на языке экономистов, оперируя средневзвешенной себестоимостью электроэнергии (так называемой LCOE — Levelised Cost of Energy), которая включает все затраты от сооружения до вывода из эксплуатации, то нетрудно увидеть, что сегодня в результате массового внедрения возобновляемых источников энергии LCOE для них уже находится на уровне или даже опустилась ниже LCOE всех остальных источников генерации. Тем не менее необходимо иметь в виду определённую условность этих расчётов, в большой степени зависящих от типа электростанции и используемых агрегатов, характера природных условий, времени полной загрузки и др. Так, для ветростанций Германии LCOE колеблется от 3,9 до 13,8 евроцентов за кВт·ч [2]. Следует также помнить, что возобновляемые источники энергии обладают весьма низкой плотностью потока энергии, то есть требуют больших затрат и площадей для размещения, крайне сильно зависят от погодных условий и времени суток, мало пригодны для основного энергоснабжения крупных потребителей — городов и предприятий, что вызывает необходимость дополнительного резервирования мощности.

На этом фоне конкурентоспособность ядерной энергетики может быть обеспечена при учёте следующих её очевидных достоинств:

- стабильная генерация;
- большая мощность и высокая плотность генерации энергии;
- обеспеченность эффективным топливом (теплотворная способность в миллион раз выше, чем у органического топлива);
- долговременность и низкие эксплуатационные расходы;
- независимость от волатильности цен на органическое топливо;
- отсутствие выбросов окислов углерода.

Однако эти достоинства могут быть приняты во внимание лишь в случае, если ядерная энергетика будет удовлетворять следующим требованиям.

Во-первых, это безусловное *обеспечение безопасности* в отношении крупных аварий. Именно угроза крупных аварий и представляет основную платформу для негативного отношения к ядерной энергетике, так или иначе укоренившуюся и старательно укореняемую отдельными средствами массовой информации и пропагандистами альтернативной энергетики в головах людей. Неслучайно, что после аварии на Чернобыльской АЭС темпы роста мирового производства электроэнергии на АЭС снизились в 6 раз. Во-вторых, мы обязаны идти по пути *повышения экономической эффективности* АЭС, что требует решения целого ряда научно-технических задач, о которых будет сказано ниже. В-третьих, не надо забывать, что ядерная энергетика обладает определённой *экологической привлекательностью* уже сейчас, поскольку эта энергетика безуглеродная, а тенденция на безуглеродную энергетiku — едва ли не главная в наше время. Но, конечно, мы должны позаботиться и о том, чтобы минимизировать угрозу накопления радиоактивных отходов, которые образуются в результате деятельности атомных станций. В перспективе желательно перейти на так называемый замкнутый ядерный топливный цикл, который минимизировал бы и наши потребности в природном уране, и объёмы отходов ядерной электроэнергетики.

Удовлетворение вышеперечисленным требованиям может быть достигнуто путём *совершенствования основных на сегодня реакторов ВВЭР* — водо-водяных энергетических реакторов. Следует отметить, что за всё время работы АЭС с реакторами типа ВВЭР на них не было зарегистрировано ни одной крупной аварии. Тем не менее после катастрофы на Чернобыльской АЭС, хотя и произошедшей с реактором иного типа — РБМК, в конструкцию реакторов ВВЭР были заложены

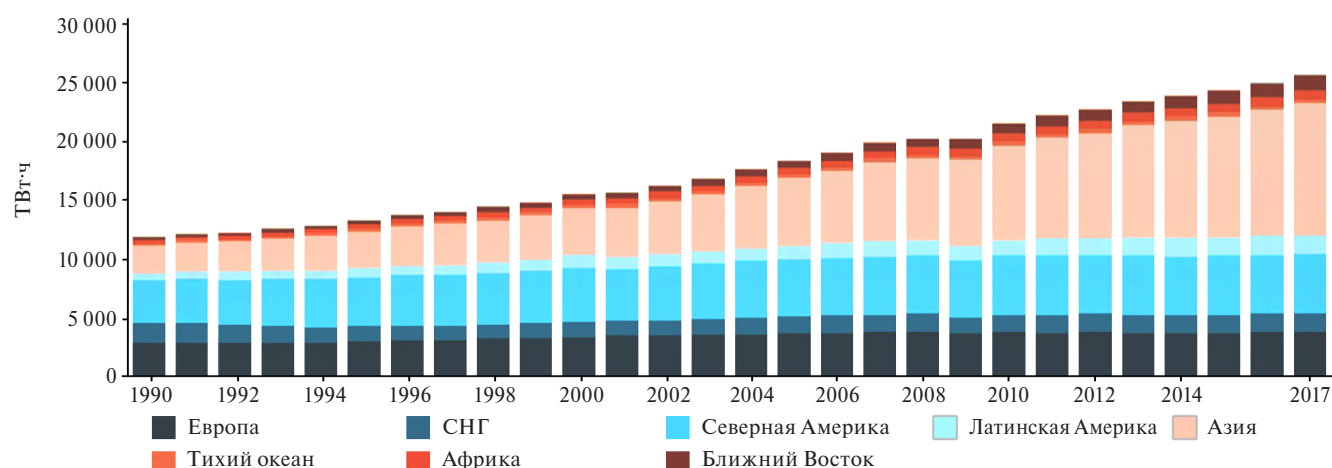


Рис. 1. Мировое производство электроэнергии по годам [1]

новые дополнительные барьеры безопасности. Сегодня мы говорим о том, что дополнительные реакторы водорода внутри контейнента³, пассивные системы отвода тепла, не требующие для своей работы электропитания и систем управления, и, наконец, ловушка расплава [3], обеспечивающая локализацию и охлаждение ядерных материалов после аварии наивысшего типа — расплавлении активной зоны реактора — стали уникальной "визитной карточкой" повышенной безопасности российских ВВЭР.

Вместе с тем экстенсивное наращивание систем безопасности приводит к удорожанию энергоблока. Необходимое (наряду с обеспечением безопасности) для поддержания высокого экспортного потенциала российских реакторов и АЭС повышение их экономической эффективности планируется обеспечить техническими решениями, которые поэтапно сделают возможным отказ от борного регулирования, отказ от использования циркониевых сплавов в активной зоне, повышение КПД и коэффициента воспроизводства, снижение расхода урана. Фактически речь идёт о новом поколении реакторов ВВЭР с регулированием спектра нейтронов в активной зоне реактора в процессе работы (ВВЭР-С) [4, 5] и использованием теплоносителя со сверхкритическими параметрами (ВВЭР-СКД) [6–8]. Возможности создания таких реакторов (и некоторых других, о которых пойдёт речь ниже) в значительной степени ограничены характеристиками имеющихся конструкционных материалов; именно в области технического материаловедения необходим прогресс для обеспечения развития атомной техники.

³ Контейнмент — герметичная оболочка, выполняющая функцию обеспечения пассивной безопасности энергетического ядерного реактора, предотвращая выход радиоактивных веществ в окружающую среду при тяжёлых авариях.

В перспективе предполагается переход отечественной ядерной энергетики на новую технологическую платформу — с замкнутым топливным циклом и решением проблемы отработанного ядерного топлива и накопления радиоактивных отходов (РАО). При этом ядерная энергетика должна как минимум стать двухкомпонентной: наряду с основными производителями электроэнергии — реакторами ВВЭР, значительную составляющую должны приобрести АЭС с реакторами на быстрых нейтронах, способные обеспечить наработку ядерного топлива с использованием природного (необогащённого) или отвалного урана, дожигание в реакторах минорных актинидов и кардинальное снижение объёмов образующихся РАО.

Создание *двухкомпонентной ядерной энергетики* выводит на передний план целый комплекс задач, требующих расчётно-теоретических и экспериментальных исследований в связи с вовлечением в топливный цикл плутония и минорных актинидов, увеличением глубины выгорания топлива и удельной тепловой мощности, обеспечением требований радиоэкологии и безопасности.

Считается, что конструкция реакторной установки реакторов нового типа должна быть интегральной, что позволит локализовать даже маловероятные утечки теплоносителя в корпусе реактора и избежать самого опасного, чем может грозить ядерная энергетика, — крупной аварии, требующей эвакуации населения со всеми вытекающими последствиями.

Напомним, что сегодня Россия является единственной страной в мире, которая эксплуатирует энергетические реакторы на быстрых нейтронах и тем самым ещё владеет необходимым технологическим преимуществом, которое мы в значительной степени потеряли в других отраслях промышленности. Сохранение этого лидерства

путём разработки и освоения прогрессивных технологических решений, включая реакторные установки на быстрых нейтронах с натриевым и свинцовым теплоносителями, на пути к двухкомпонентной ядерной энергетической системе будет способствовать поддержанию экспортного потенциала отрасли и минимизации рисков развития ядерной энергетики, связанных с неопределённостью энергетического рынка и ресурсного обеспечения [9, 10].

С целью повышения экологической привлекательности ядерной энергетики анализируются возможности ускоренного внедрения ядерного топливного цикла с мультирециклированием ядерных материалов, включающего извлечение и повторное использование делящихся компонент ядерного топлива наряду с эффективным обращением с образующимися радиоактивными веществами перед их захоронением. Фракционирование и переработка отработавшего ядерного топлива (ОЯТ) вместе со "сжиганием" наиболее опасных продуктов реакций — минорных актинидов — неотъемлемая часть такой стратегии.

Помимо разрабатываемых реакторов на быстрых нейтронах с жидкометаллическим теплоносителем, для трансмутации минорных актинидов можно использовать и другие реакторные установки с большими потоками нейтронов, например, так называемые жидкосольевые реакторы (ЖСР). Основные и весьма существенные преимущества ЖСР — это устранение необходи-

мости традиционной фабрикации таблеточного топлива, крайне затруднённой даже для америция и практически нереальной для кюрия, возможность без изменения конструкции использовать широкий спектр топливных загрузок, включающих плутоний и все минорные актиниды (в том числе кюрий) из накопленного ОЯТ. Вследствие высокой удельной энергонапряжённости активной зоны и циркуляции расплавленного топлива дожигание минорных актинидов в ЖСР происходит весьма эффективно [11, 12].

Сказанное обосновывает целесообразность разработки проекта ЖСР опережающими темпами, не дожидаясь внедрения в энергосистему реакторов на быстрых нейтронах и перехода на двухкомпонентную энергетику. При этом следует учитывать, что переработка ОЯТ с помощью ЖСР может стать для "Росатома" и нашей страны новой эффективной статьёй международного бизнеса, не требуя при этом сооружения большого количества реакторных установок.

Возможная организация процесса замыкания ядерного топливного цикла без непосредственного перехода к реакторам на быстрых нейтронах, в том числе используя уже существующие возможности, схематически изображена на рис. 2. Как видно, схемой предусмотрена возможность использования регенерированного топлива разного типа, технически реализуемая уже сегодня и привлекающая всё больший интерес, в том числе при строительстве новых АЭС.

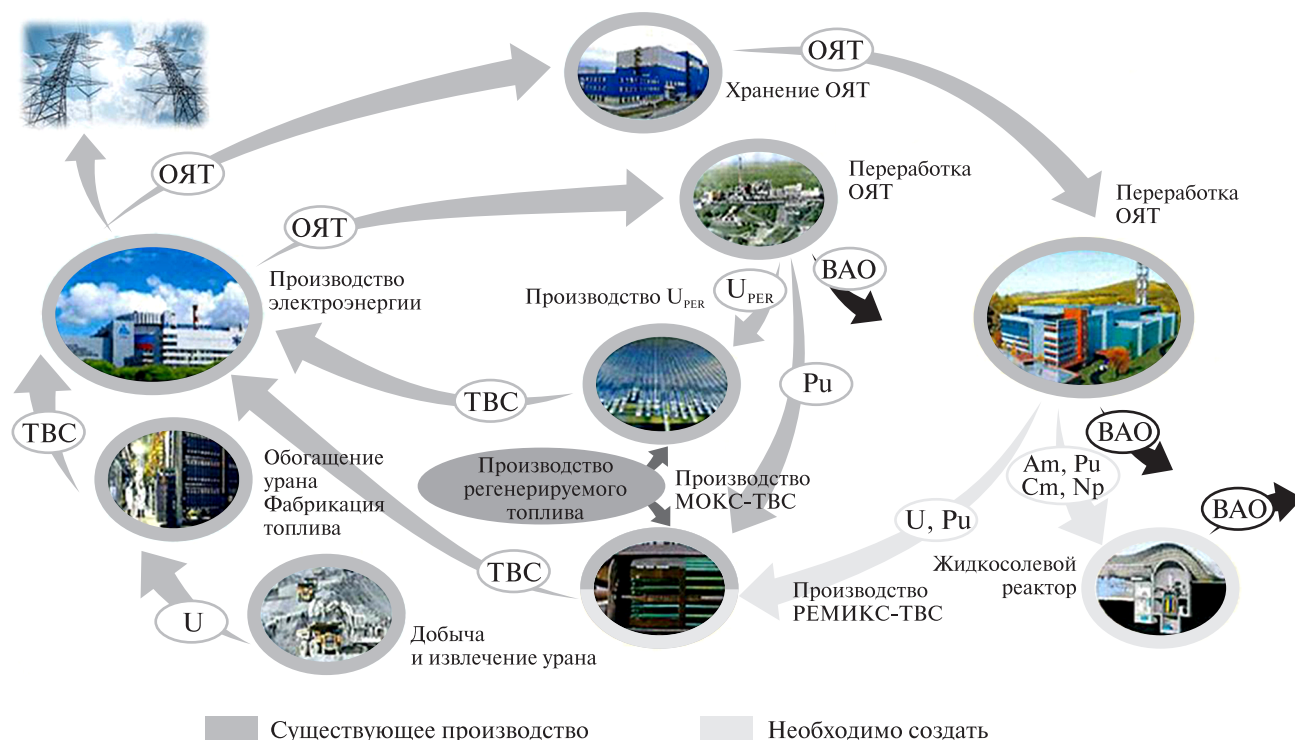


Рис. 2. Возможности и пути замыкания ядерного топливного цикла

В качестве ещё одного возможного направления технологического развития ядерной энергетики рассматривается *малая ядерная энергетика*, развёртывание которой может быть целесообразно с учётом низкой плотности населения нашей страны и ограниченности охвата территории электрическими сетями.

Потенциально объекты использования малой ядерной энергетики существуют, они хорошо известны и не сводятся сегодня исключительно к числу оборонных. Это главным образом объекты локальной энергетики или крупные единичные потребители — такие, как предприятия нефтегазового промысла, горно-обогатительные комплексы, металлургические предприятия, аэропорты и порты. Небольшое, но стабильное энергоснабжение посредством атомных станций малой мощности (АСММ) необходимо метеорологическим и гидрологическим станциям, для обеспечения радиосвязи, радиолокационной и навигационной поддержки транспортной инфраструктуры в Арктике и др. Существенно, что АСММ также могут стать предметом экспорта в страны Юго-Восточной Азии, Африки, Океании и др.

Высокие капитальные затраты на строительство АЭС означают рост LCOE при снижении мощности станции. Вот почему довольно старая идея об АСММ до сих пор не была реализована, несмотря на обилие (более четырёх десятков!) проектов подобного рода. Однако сегодня речь идёт о том, чтобы делать такие станции индустриально с полной заводской готовностью или с высокой степенью готовности, выпускать их серийно, добившись повышенной (в идеале — полной) автономности. Тем самым можно будет существенно сократить расходы на проектирование, капитальное строительство на местах и эксплуатацию, минимизировать численность обслуживающего персонала.

Таким образом, если мы сможем реализовать конструкции станции, которая будет привезена на место и, не требуя специального обслуживания при эксплуатации, отработает какое-то время, а потом будет увезена обратно (перегруз топлива и выгрузка ОЯТ также предусматриваются в заводских условиях или организуются специальным транспортабельным модулем), то отношение к АСММ как к экономически малопривлекательному объекту изменится. Добавим, что при использовании в отдалённых районах может быть востребована АСММ, работающая в режимах теплоснабжения или когенерации (с одновременным отбором как электрической, так и тепловой энергии), опреснения воды и/или выработки водорода.

Технологии получения и использования водорода в энергетических целях в последнее время привлекают повышенное внимание в развитых

странах, говорят даже о ренессансе *водородной энергетики*. Действительно, во всё более и более актуальных вопросах, связанных с декарбонизацией промышленности, транспорта и энергопотребления, необходимостью иметь эффективные буферы — накопители энергии для повышения устойчивости энергетических систем, в том числе включающих возобновляемые источники энергии, наиболее интересные, экономически и социально выгодные решения основаны на использовании водорода. С этой точки зрения, разворачивание сегодня научно-технологической деятельности, нацеленной на расширение масштабов производства и использования водорода в экономике страны, представляется делом насущным и крайне своевременным.

Потребление водорода в мире быстро растёт, и, согласно современным прогнозам, рынок водорода в перспективе до 2050 г. способен занять долю до 18% в структуре глобальной энергетики. В январе 2017 г. в ходе Всемирного экономического форума в Давосе был образован Международный водородный совет. В этот совет вошли ведущие мировые компании, в том числе нефтяные, которые признали, что широкомасштабное использование водорода может стать новым этапом развития энергетики. А премьер-министр Японии Синдзо Абэ на совещании по проблемам новой энергетики в 2017 г. в Токио заявил о намерении первыми в мире построить общество, основанное на использовании водорода, и со временем полностью отказаться от нефти и природного газа как топлива.

Идея водородной энергетики для нашей страны не нова; её проработка активно велась во второй половине прошлого века. Основными препятствиями широкому внедрению водорода считались высокая энергоёмкость производства и взрывоопасность кислород-водородной смеси, требующая специальных мер безопасности, в том числе при хранении/транспортировке водорода в баллонах высокого давления. Эти факторы делали использование водорода в энергетике и на транспорте экономически невыгодным. С тех пор изменилось многое. Изменения, связанные в том числе с научным и технологическим прогрессом, затронули все элементы водородной цепочки "производство — хранение/транспортировка — потребление". Появившиеся излишки генерирующих мощностей требуют организации гибкого процесса энергонакопления, и производство водорода способно служить универсальным и весьма эффективным способом использования таких излишков. Если говорить о потреблении, то прежде всего речь идёт о водородных топливных элементах — наиболее интересном и перспективном способе использования водорода как на транспорте (для электродвижения), так и для мобильных

устройств, — имеющих более высокую (в 3–6 раз) плотность энергии на единицу массы и, соответственно, кратное увеличение длительности работы устройства без подзарядки по сравнению с литиевыми батареями. В области хранения и транспортировки появились новые эффективные адсорберы водорода — как твёрдые (борсодержащие) соединения, так и жидкие (на основе нитридов металлов и интерметаллидов), что позволяет уйти от хранения водорода в баллонах высокого давления.

"Росатом" имеет богатый опыт разработок по водородной тематике во всех элементах жизненного цикла обращения водорода, что позволяет оперативно включиться в формирующийся мировой тренд. Наиболее принципиальный вклад атомная отрасль может внести в развитие водородной энергетики на стадии крупномасштабного производства водорода с помощью так называемого высокотемпературного газоохлаждаемого реактора, концепция и возможности применения которого для целей водородной энергетики в нашей стране достаточно давно и хорошо проработаны [13, 14].

Отдельно следует сказать о термоядерном синтезе как о потенциальном источнике фактически бесконечной энергии. Аргументы, зачем можно и должно заниматься этой проблемой, у нас сегодня те же, что были более 60 лет назад на заре термоядерных исследований. Главные — это, конечно, отсутствие углеродсодержащих выбросов, принципиальная невозможность разгона реактора (термоядерные реакции — не цепные) и неограниченность топливных ресурсов: как известно со школьных времён, энергосодержание дейтерия, находящегося в стакане воды, эквивалентно энергосодержанию бочки (барреля) бензина.

Что сделало человечество в области освоения термоядерной энергии за истекшие годы? Достаточно много, и сегодня мы вплотную приблизились к финишной черте: мы уже умеем демонстрировать возможность производства термоядерной энергии, правда, на очень сложных устройствах и в течение короткого времени.

Строящийся в настоящее время на юге Франции в ядерном центре Кадараш токамак ИТЭР (интернациональный термоядерный экспериментальный реактор) является, без преувеличения, самым крупным и самым дорогим научным проектом современности [15]. ИТЭР — это крупнейшая коллаборация ведущих мировых держав. В неё вошли Россия, США, Европейский союз, Япония, потом к ним присоединились Китайская Народная Республика, Индия и Корея.

На рис. 3 стрелками показаны сложные технологические элементы, которые изготавливаются разными сторонами коллаборации. Несмотря на то, что проект движется и строительство идёт успешно, первая плазма в токамаке ИТЭР будет получена только в 2025–2026 гг., а на реальный режим работы с дейтериево-тритиевой смесью токамак выйдет не ранее 2035 г. Спрашивается, зачем мы делаем такое дорогое устройство, не только же из чисто научного интереса?

Для нашей страны ключевое значение имеет то, что, участвуя в этом проекте, мы получаем доступ к самым современным технологиям, причём развиваемым не только у нас, но и во всём мире — согласно договору по ИТЭР. Каждый партнёр, в том числе Российская Федерация, имеет право на получение безвозмездных лицензий на использование технологий, созданных в рамках проекта

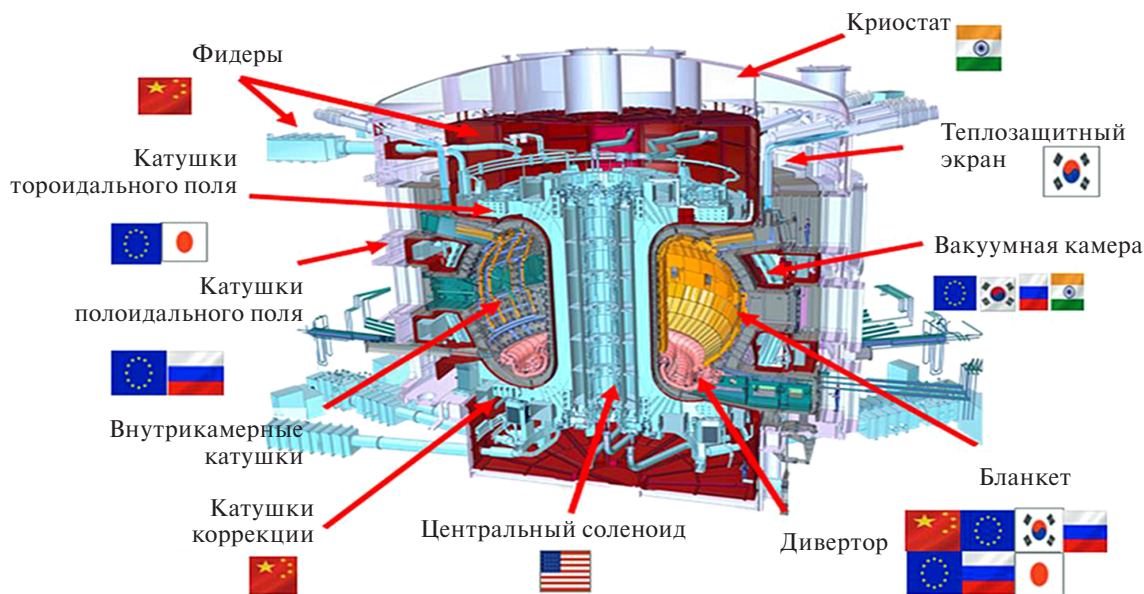


Рис. 3. Основные элементы токамака ИТЭР и страны — разработчики этих элементов [15]

ИТЭР, для собственных (национальных) целей. Поэтому сегодня все участники коллаборации (кроме России) имеют собственные национальные программы и проекты, финансируемые на уровне, превышающем вклады этих стран в проект ИТЭР. Такие национальные программы необходимы для освоения и последующего использования полученных ИТЭР результатов и технологий. Достаточно упомянуть технологии сверхпроводников, мощных источников частиц и электромагнитного излучения, самых прецизионных диагностик плазмы и многое другое.

В России *исследования и разработки в области УТС* развиваются в направлениях освоения энергии как "чистого" термоядерного синтеза, так и в сфере создания гибридных систем. Концепцию гибридного реактора следует рассматривать в увязке с ключевыми проблемами устойчивого развития ядерной энергетики и замыкания топливного цикла. Главное преимущество гибридного термоядерного реактора по сравнению с любой другой ядерной установкой, обеспечивающей конверсию сырьевых изотопов в делящиеся, заключается в использовании термоядерных нейтронов высокой энергии, что позволяет почти в 10 раз увеличить интенсивность наработки новых делящихся изотопов из сырьевых при одинаковой мощности установок. Это важнейшее качество приводит к тому, что присутствие гибридных термоядерных реакторов в структуре ядерной энергетической системы можно ограничить небольшой (менее 15%) долей и при этом в полном объёме решить проблему обеспечения топливом [16, 17]. Реакторы деления, составляющие основу существующей атомной энергетики, будут обеспечены делящимися изотопами, произведёнными в гибридных реакторах. Одновременно с этим гибридные реакторы будут обеспечены тритием, наработанным в реакторах деления. Вторая возможная задача гибридных реакторов — высокоэффективное дожигание минорных актинидов, накапливающихся в результате работы ядерных реакторов.

Несколько особняком стоят работы по так называемому инерционному термоядерному синтезу, принцип которого состоит в поджиге (микровзрыве) термоядерной мишени за время, меньшее времени её разлёта. Такие работы позволяют продвинуться в область сверхплотных состояний вещества и сверхвысоких плотностей энергии, что имеет ещё и принципиальное значение для фундаментальной науки. Заметим, что помимо овладения такими технологиями термоядерный синтез продемонстрировал большое количество побочных технологических применений, которые уже сейчас внедрены в промышленность.

Подводя итог, хотелось бы отметить, что перечисленные здесь направления развития ядерной

энергетики — все без исключения — основаны на продвижении отечественной ядерной науки и развитии сферы высоких технологий, что отвечает требованиям утверждённой Президентом РФ Стратегии научно-технологического развития, обеспечивая энергетическую и национальную безопасность нашей страны. Следует подчеркнуть, что атомная отрасль до сих пор остаётся одной из самых наукоёмких и высокотехнологичных сфер нашего народного хозяйства и при этом обеспечивает экономический профицит, довольно заметный в бюджете страны. Чтобы сохранить эти позиции, атомной отрасли необходимы системные инвестиции в научно-технологическое развитие. Перечисленные нами направления этого развития в настоящее время включены в национальный проект "Атомная наука, техника и технологии", который Госкорпорация "Росатом" предлагает к реализации.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарны многочисленным коллегам по Госкорпорации "Росатом" за плодотворные обсуждения, в том числе в ходе отраслевой научной конференции 3–4 апреля 2018 г. Особую признательность выражаем В.Е. Фортову за рассмотрение перспектив развития атомной энергетики на заседании Совета по приоритетному направлению научно-технологического развития Российской Федерации "Переход к экологически чистой и ресурсосберегающей энергетике, повышение эффективности добычи и глубокой переработки углеводородного сырья, формирование новых источников, способов транспортировки и хранения энергии" 25 октября 2018 г. и Е.О. Адамову, В.Г. Асмолову, Л.А. Большову, А.В. Дубу, И.А. Ермакову, О.В. Крюкову, Н.Н. Пономарёву-Степному, А.А. Саркисову за подготовку и представление материалов на данном заседании.

ЛИТЕРАТУРА

1. Статистический Ежегодник мировой энергетики 2018. <https://yearbook.enerdata.ru/electricity/world-electricity-production-statistics.html>
2. Levelized Cost of Electricity Renewable Energy Technologies, March 2018. Fraunhofer Institute for Solar Energy System. https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/en/documents/publications/studies/EN2018_Fraunhofer-ISE_LCOE_Renewable_Energy_Technologies.pdf
3. Расплав. Удержание расплавленных материалов активной зоны водоохлаждаемых реакторов / Под ред. В.Г. Асмолова, А.Ю. Румянцев, В.Ф. Стрижова. М.: Концерн "Росэнергоатом", 2018.
4. Чибиняев А.В., Алексеев П.Н., Теплов П.С. Оценка влияния регулирования нейтронного спектра на глубину выгорания топлива ВВЭР-1000 // Атомная энергия. 2006. Т. 101. Вып. 3. С. 231–234.
5. Chibinyayev A. V., Alekseev P. N., Gorohov V. F., Teplov P. S. The main characteristic of the evolution project SuperVVER with spectrum shift regulation. Kerntechnik. 2013. V. 78. № 4. P. 285–291.

6. Долгов В.В. Энергоблоки на основе ВВЭР с критическими параметрами теплоносителя // Атомная Энергия. 2002. Т. 92. Вып. 4. С. 277–280.
7. Silin V.A., Voznesensky V.A., Afrov A.M. The Light Water Integral Reactor with natural circulation of the coolant at supercritical pressure B-500 SKDI // Nuclear engineering and Design. 1973. V. 144. P. 327–336.
8. Schulenberg T., Starflinger J., Heinecke J. Three pass core design proposal for a high performance light water reactor // Progress in Nuclear Energy. 2008. V. 50. P. 526–531.
9. Адамов Е.О., Соловьев Д.С. Ядерная энергетика – вызовы и решение проблем // Энергетическая политика. 2017. Вып. 3. С. 21–30.
10. Адамов Е.О., Рачков В.И. Новая технологическая платформа формирования национальной стратегии развития ядерной энергетики // Известия РАН. Сер. "Энергетика". 2017. № 2. С. 3–12.
11. IAEA Technical Meeting on the Status of Molten Salt Reactor Technology. 31 Oct – 3 Nov 2016. Vienna, Austria.
12. Molten Salt Reactors and Thorium Energy / Eds. J.D. Thomas. Cambridge, MA, USA: Woodhead Publ., 2017.
13. Гребенник В.Н., Кухаркин Н.Е., Пономарёв-Степной Н.Н. Высокотемпературные газоохлаждаемые реакторы – инновационное направление развития атомной энергетики // М.: Энергоатомиздат, 2008.
14. Ядерные энергетические установки с высокотемпературными модульными газоохлаждаемыми реакторами. В 2-х томах / Под ред. Н.Н. Пономарёва-Степного. Нижний Новгород, 2018.
15. ITER – the way to new energy. <https://www.iter.org/proj/inafewlines>
16. Велихов Е.П., Ковальчук М.В., Ильгисонис В.И. и др. Ядерная энергетическая система с реакторами деления и синтеза – стратегический ориентир развития отрасли // ВАНТ. Сер. "Термоядерный синтез". 2017. Т. 40. Вып. 4. С. 5–13.
17. Велихов Е.П., Ковальчук М.В., Ильгисонис В.И. и др. Эволюционное развитие атомной энергетики в направлении крупномасштабной ядерной энергетической системы с реакторами деления и синтеза // Энергетическая политика. 2017. Вып. 3. С. 12–21.

THE ACTUAL SCIENTIFIC AND TECHNICAL PROBLEMS OF NUCLEAR ENERGY

© 2019 Yu.A. Olenin, V.I. Ilgisonis

State Atomic Energy Corporation "Rosatom", Moscow, Russia

E-mail: YuAOlenin@rosatom.ru; vilkiea@gmail.com

Received: 03.12.2018

Revised version received: 03.12.2018

Accepted: 21.01.2019

Present-day problems and possible prospects of domestic nuclear power energy are discussed. The nuclear industry is concluded to can act as a powerful driver of scientific and technological progress, as a mechanism that stimulates the development of a wide range of industrial and technological segments of the country's economy. Based on the report at the General meeting of the RAS on November 13, 2018.

Keywords: nuclear power, nuclear reactor, nuclear fuel cycle, fast neutron reactor, radioactive waste, spent nuclear fuel, liquid-salt reactor, small modular reactors, hydrogen energy, thermonuclear fusion.

ОБЩАЯ ДИСКУССИЯ ПО ПРИОРИТЕТУ

Материал поступил в редакцию 03.12.2018 г.

Принят к публикации 25.12.2018 г.

Ключевые слова: А.Э. Конторович, С.П. Филиппов, С.В. Алексеенко, В.И. Бухтияров, С.М. Алдошин.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-5873894343-347>

АКАДЕМИК РАН А.Э. КОНТОРОВИЧ

Вступительное слово В.Е. Фортова и доклады, которые мы заслушали, все без исключения были чрезвычайно интересны и в целом достаточно широко осветили проблемы, стоящие перед энергетической отраслью. Но при этом вопрос, откуда берётся газ для гигантских проектов, которые мы реализуем, не был упомянут даже в блестящем докладе члена-корреспондента РАН О.Е. Аксютин. Между тем следует отдавать себе отчёт, что ещё в начале XX в. мы практически не имели ни нефтяной, ни газовой промышленности. Это уникальное достижение нашей геологической науки, которое трудно переоценить и которое по значимости я ставлю в один ряд с атомным и космическим проектами.

Теперь по существу. Оценки показывают, что традиционных ресурсов нефти для удержания добычи на современном уровне надолго не хватит. Напомню, что в годы, когда цена на нефть была высокой, доходы от её добычи составляли примерно 50% бюджета, но и в годы низкой цены этот показатель был внушительным: 36% бюджета. Поэтому все сценарии развития высокой науки, которые требуют бюджетного обеспечения, останутся фантазией, если устойчиво не развивать нефтяную и газовую промышленность.

Что делать в условиях неизбежного падения добычи традиционной нефти в стране? Есть четыре-пять перспективных направлений роста нефтедобычи, среди которых назову арктическое. С моей точки зрения, оно занимает последнее место не по значимости, а по срокам разработки оборудования, технологий и реализации. Ранее середины XXI в. мы не сможем технологически подготовиться к освоению арктической нефти и газа. Но уже сейчас есть чётко сформулированные мероприятия, которые позволят нам в будущем осваивать, поддерживать и даже увеличивать добычу углеводородов в стране.

Я назову лишь два важнейших направления приложения сил. Первое: необходимо сфокусировать внимание на средних и мелких месторождениях, которые в изобилии открыты геолога-

ми, но мало осваиваются, поскольку на крупных месторождениях добывать нефть выгоднее. И они ещё будут открываться. Такие месторождения могут давать до 100 млн т нефти в год. Это долгосрочная задача. Для её решения не требуется супервысоких технологий, однако нужна соответствующая реформа законодательной и нормативной базы, а также подключение финансовых ресурсов.

Второе направление. В Западной Сибири находится уникальный объект — Баженовская свита. Это крупнейшее в России сланцевое месторождение нефти. С ним может сравниться, пожалуй, только доманиковая свита, расположенная в Европейской части страны вдоль Уральского хребта практически от Печорского моря до Каспия, — второй по размерам и объёмам после Баженовской свиты потенциальный источник сланцевой нефти в России. Аналогичные толщи есть и в Восточной Сибири, и на Северном Кавказе.

У Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН имеется проект освоения Баженовской свиты. По суммарным ресурсам это месторождение не уступает тем, которые разрабатывались последние 60 лет в Западной Сибири. Однако по разным причинам данный объект выпадает из планов и интересов науки. Между тем для поддержания и развития нефтяного комплекса альтернативы ему нет. Я подробно рассказывал о целесообразности разработки залежей Баженовской свиты Президенту РФ В.В. Путину, президенту Академии наук В.Е. Фортову, обращался по этому поводу к представителям Министерства энергетики РФ. Все вроде бы согласны. Но прошло уже три года с момента постановки проблемы, а воз и ныне там. Надо признать, что многие отечественные компании (Сургутнефтегаз, Лукойл, Газпромнефть, Роснефть), судя по ограниченной информации, апробируют различные модификации американских методик. Наши исследования показывают, что этот путь недостаточно эффективен, и мы теряем время. Однако фактор времени играет решающую роль. На разработку сланцевой нефти американцы потратили 30 лет. Я обещал президенту страны,

что мы решим задачу силами мультидисциплинарного научного коллектива физиков, математиков, механиков, геологов и геофизиков за 7–10 лет и потратим на это в 5–6 раз меньше денег, чем заокеанские партнёры. Надеюсь, что проект освоения Баженовской свиты, несомненно, работающий на будущее страны, всё-таки будет реализован, вне зависимости от того, кто им займётся — наш институт или другие коллективы. Надо только стимулировать интерес государственной власти и ведущих нефтяных компаний к решению этой важнейшей научно-технической задачи.

Есть и другие направления развития работ, которые позволят резко увеличить добычу нефти в стране. Но приоритетными, первостепенными являются два названных.

АКАДЕМИК РАН С.П. ФИЛИППОВ

Все представленные проекты заслуживают большого внимания, но мне кажется, что среди них есть два первоочередных. Первый связан с разработкой отечественных высокоэффективных газовых турбин нового поколения. Поскольку сейчас основная задача в электроэнергетике — реконструкция и модернизация электрогенерирующего оборудования (в рамках программы, запланированной на срок до 2035 г., предполагается обновить оборудование, производящее примерно 100 ГВт), это базовая технология, которая позволяет достичь поставленных целей.

Второй проект нацелен на будущее и отражает формирующийся в мире переход от централизованной энергетики к гибкому варианту — с широким использованием объектов распределённой генерации, в том числе на основе возобновляемых источников энергии. Кроме того, важно учитывать специфику России — огромную территорию, низкую плотность населения и суровый климат. Мы живём в стране, три четверти которой относятся к плохо освоенным территориям. Там практически нет никакой инфраструктуры — дорог, линий электропередач, линий связи, и создавать в этих местах крупные электроэнергетические системы нецелесообразно. Но даже в зонах централизованного энергоснабжения есть регионы с низкой плотностью электрических сетей, высокими затратами на их содержание и низкой надёжностью энергоснабжения. Они также нуждаются в совершенствовании электроэнергетического хозяйства.

Распределённая генерация — это уникальный набор технологий для энергетики. К наиболее перспективным можно отнести: топливные элементы, которые обеспечивают эффективность генерации при низких мощностях и низких температурах; электрохимические аккумулято-

ры, способные запасать электроэнергию, делать её хранимым продуктом; фотоэлементы, благодаря которым можно организовать производство привлекательной по стоимости электроэнергии даже в городских зданиях, на дачах и в частных домовладениях. Это наукоемкие и высокотехнологичные продукты с высокой добавленной стоимостью и огромным экспортным потенциалом, которые могут принципиально изменить технологический ландшафт в энергетике.

Сейчас много говорят о реализации новых возможностей на основе внедрения технологий интеллектуальных электроэнергетических систем (Smart Grid) — так называемой умной (цифровой) энергетики, умных сетей. Они могут оказать существенное влияние на развитие распределённой генерации. Правда, эта тема в докладах была отражена слабо.

Названные мной два проекта — разработка конкурентоспособных отечественных газовых турбин широкого диапазона мощности, решающих задачу обеспечения научно-технологической независимости электроэнергетики страны, и создание новых технологий распределённой генерации, способных надёжно обеспечить энергией отдалённые регионы, в том числе огромные территории Арктики, Сибири и Дальнего Востока, а также расширить экспортные возможности страны, — требуют серьёзной научной поддержки и потому заслуживают особого внимания Академии наук. Именно их надо рассматривать как первоочередные в решении актуальных энергетических проблем России и создании технологической платформы энергетики будущего.

АКАДЕМИК РАН С.В. АЛЕКСЕЕНКО

Сегодня возобновляемые источники энергии (ВИЭ), к которым относят солнечную, ветровую, геотермальную энергию, низкопотенциальное тепло, энергию малых водотоков и биомассы, включая энергию от переработки отходов, — самая обсуждаемая тема не только в энергетике, но и в обществе. Технический потенциал ВИЭ России огромный — его оценивают как вшестеро превосходящий сегодняшний уровень энергопотребления в стране. Тем не менее отношение к этому энергоресурсу у нас неоднозначное, я бы даже сказал, отрицательное. Я отношу себя к сторонникам активного освоения возобновляемых источников энергии.

Сегодня наблюдается тенденция к смещению энергобаланса в сторону ВИЭ. Вклад возобновляемых источников энергии в производство электроэнергии в мире вырос с 2% в 2003 г. до почти 10% в 2018 г., то есть в 5 раз за 15 лет. А в 2020 г. прогнозируется 11,2%. Это означает,

что во многих странах уже происходит массовый переход на альтернативные источники энергии. Однако Россия не входит в число лидеров по использованию ВИЭ. Ожидается, что к 2020 г. их доля в энергобалансе страны составит лишь 1% — показатель, несопоставимый со среднемировым. Считаю, что необходим рост доли ВИЭ к 2035 г. до 5% по установленной мощности, иначе мы отстанем от мировых тенденций навсегда, а возобновляемая энергетика не будет существовать как отрасль экономики. Именно поэтому нашей стране, как никакой другой, требуется разработка мер по стимулированию и государственной поддержке отрасли.

Есть разные точки зрения на приоритеты развития энергетики. В ближайшей перспективе нам, конечно, следует делать упор на экологически чистые и эффективные технологии переработки органического топлива. В области большой теплоэнергетики на органическом топливе с точки зрения повышения КПД наиболее актуален вопрос о переходе на суперсверхкритические параметры пара (например, по проекту Всероссийского теплотехнического института: мощность — 660 МВт; давление — 29,4 МПа; температура — 610°C; КПД — 45%), а также на применение парогазовых установок. Конечно, говоря о переработке органического топлива, необходимо иметь в виду экологические проблемы, включая выбросы углекислого газа. Их актуальность со временем будет только нарастать. В стратегическом плане ориентир для угольной промышленности — глубокая переработка твёрдого топлива (в первую очередь газификация), когда на выходе мы имеем не только энергию, но и разнообразные химические и другие продукты.

В более далёкой перспективе видится интенсивное освоение ВИЭ и разработка эффективных методов преобразования и хранения энергии, без которых невозможно практическое использование большинства возобновляемых источников энергии. И хотя это дело будущего, заниматься им надо уже сегодня.

Я рассматриваю в числе перспективных направлений возобновляемой энергетики солнечную и геотермальную генерацию. Сейчас самые впечатляющие успехи в фотовольтаике — ежегодный прирост мощности за счёт солнца составляет 28% — это колоссальный показатель. Успехи в солнечной генерации у нас есть (например, в 2015 г. в Башкирии заработала Бурибаевская солнечная электростанция мощностью 20 МВт), и она, безусловно, будет развиваться. Хотя скептики утверждают, что в России мало солнца и вообще не надо тратить время на возобновляемые источники энергии, поскольку в стране много нефти и газа. Между тем в той же Англии, кото-

рую мы называем "Туманным Альбионом", даже в облачную погоду можно получать энергию от солнца, пусть даже с низким КПД. У нас хорошая ирригация по всей границе южной России, а больше всего солнечной энергии, как ни странно, получает Якутия.

Другое интересное и перспективное направление развития мировой энергетики, по моему мнению, связано с геотермальной энергией, которая основывается на тепле горячих подземных вод. Но прогнозируется постепенный переход на петротермальную энергетику. Она использует тепло сухих пород с температурой до 350°C на глубинах 3–10 км. Петротермальной энергии достаточно, чтобы навсегда обеспечить человечество энергией! Схема извлечения глубинного тепла состоит в следующем. Бурятся две (или более) скважины на расстоянии 1 км, между которыми на глубине свыше 3 км создаётся проницаемая зона либо искусственно методом гидроразрыва, либо (по возможности) путём использования естественной проницаемости. Через одну из скважин подаётся холодная вода, через другую выходит горячая с температурой 200–350°C, которая идёт на тепловую электростанцию для генерации электроэнергии и нужд теплоснабжения. При меньших температурах применяются бинарные циклы на органических теплоносителях и тепловые насосы. Возможен вариант с эксплуатацией тысяч простаивающих нефтяных и газовых скважин с глубинами до 5 км. В настоящее время продемонстрирована техническая состоятельность петротермальных проектов. В ряде стран приняты программы развития этого вида энергии, в основном на уровне НИОКР с преобладающей долей бюджетного финансирования.

В России есть условия и возможности для развития геотермальной энергетики, включая петротермальную, а в СО РАН имеются практически все специалисты, способные в кооперации успешно решать научные задачи по указанной проблеме.

АКАДЕМИК РАН В.И. БУХТИЯРОВ

Я возглавляю профильную секцию "Добыча, транспортировка и переработка углеводородного сырья" одного из семи тематических советов по реализации Стратегии научно-технологического развития РФ. Инструментами работы по её приоритетным направлениям становятся комплексные научно-технические программы (КНТП), приходящие на смену федеральным целевым программам. В Национальном проекте "Наука" заложены достаточно серьёзные средства на их реализацию. В рамках большого проекта мы предлагаем КНТП "Перспективные направления развития технологий добычи и транспортировки

углеводородного сырья" ("Добыча") и "Технологии и катализаторы глубокой и эффективной переработки углеводородного сырья" ("Переработка").

Комплексные программы имеют свои отличительные особенности, и первая из них — ориентация на достижение чётко обозначенных показателей. Так, КНТП "Добыча" должна обеспечить:

- увеличение производства высококачественного моторного топлива до 1000 млрд руб. ежегодно;
- прирост производства высокомаржинальной продукции за счёт вовлечения нефтезаводских газов и газового конденсата до 600 млрд руб. в год;
- вовлечение в переработку тяжёлого нефтяного сырья — до 1000 млрд руб. в год;
- рост производства высокотехнологичных материалов в 2,5–3 раза до 2500 млрд руб. в год.

КНТП "Переработка" включает ряд комплексных проектов по четырём направлениям.

В рамках направления "Процессы подготовки и переработки природного газа" предлагается реализовать следующие проекты:

- переработка природного газа для его последующего экспорта и квалифицированного использования;

- методы получения водорода из природного газа без эмиссии CO_2 и технологии связывания водорода для последующей транспортировки.

В рамках направления "Повышение эффективности переработки нефтяного сырья России":

- катализаторы и технологии глубокой и высококвалифицированной переработки нефтяных фракций вторичного происхождения и нефтезаводских газов;
- катализаторы и технологии производства товарных нефтепродуктов (моторное топливо и смазочные материалы) для успешного освоения Арктики и Крайнего Севера;
- методы вовлечения нетрадиционного углеводородного сырья (битуминозные породы, сверхтяжёлая нефть, углеродистые сланцы и пр.) в производство моторного топлива и сырья для нефтехимии.

В рамках направления "Квалифицированная переработка газового и нефтяного сырья с получением продукции нефтехимии высокой добавленной стоимости":

- энерго- и ресурсоэффективные методы получения мономеров и продукции нефтехимии из газового и нефтяного сырья;
- химическая переработка природного газа и газового конденсата в высокомаржинальную продукцию;
- методы получения высокотехнологичных полимерных и углеродных материалов из углеводородного сырья.

В рамках направления "Цифровые технологии в глубокой переработке углеводородного сырья":

- разработка математических моделей процессов глубокой переработки углеводородного сырья на основе больших массивов данных.

По сути, это сквозные технологии, их главный общий признак — возможность применения в различных отраслях народного хозяйства. Причём использование таких разработок должно привести к осязаемым результатам: выпуску моторного топлива высоких экологических стандартов; производству отечественных катализаторов нефтепереработки и нефтехимии; вовлечению тяжёлых фракций и газов в производство топлив и продукции нефтехимии; производству базовых мономеров, полимеров современных марок; улучшению экологических показателей предприятий нефтехимии и нефтепереработки.

Замечу, что основными потребителями результатов нашей деятельности должны стать индустриальные партнёры — крупнейшие нефтегазодобывающие, нефтеперерабатывающие компании и корпорации нефтехимической и азотной промышленности России. И это ещё одна особенность КНТП.

АКАДЕМИК РАН С.М. АЛДОШИН

Хочу сказать несколько слов о возможных способах кооперации институтов РАН, вузов, крупных отечественных компаний и промышленных предприятий при создании проектов полного инновационного цикла, к чему обязывает нас указ Президента РФ от 7 мая 2018 г. "О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года" и последующее поручение председателя Правительства России.

Фактически это третья попытка государства сформировать национальную инновационную систему. Первая была предпринята в 2011 г., когда на заседании Правительственной комиссии по высоким технологиям и инновациям утвердили перечень из 27 технологических платформ. Предполагалось, что за счёт этого механизма при поддержке государства будут созданы стимулы для инновационной активности бизнеса, привлечения дополнительных средств в науку и консолидации ресурсов на приоритетных направлениях инновационного развития. Академия наук принимала активное участие в этой работе, в частности, в формировании технологической платформы "Глубокая переработка углеводородных ресурсов".

К сожалению, попытки организовать такие сквозные проекты не дали нужного эффекта. Крупные, контролируемые государством российские компании должны были разработать программы инновационного развития и предусмотреть финансирование проектов для их нужд,

выполняемых внешними исполнителями, в том числе институтами. Однако в отчётах компании просто показывали внутренние затраты, утверждая, что они финансируют внешние разработки. Поэтому некоторые платформы оказались мертворождёнными.

Вторая попытка создания национальной инновационной системы связана с разработкой национальной технологической инициативы (НТИ). По сути, речь идёт о долгосрочной комплексной программе, главная цель которой — создать условия для обеспечения лидерства российских компаний на новых высокотехнологичных рынках. В послании Федеральному Собранию в декабре 2014 г. Президент РФ обозначил НТИ одним из приоритетов государственной политики. В рамках НТИ предполагается в течение 5–7 лет решить проблемы импортозамещения, а в более долгосрочной перспективе (20–30 лет) осуществить переход к новой технологической структуре отечественной экономики. НТИ концентрируется на создании новых глобальных рынков, которые сформируются через 15–20 лет. Большинство из них должны иметь сетевую природу (наследовать подходы, которые существуют в Интернете, или использовать инфраструктуру сети). В 2015 г. были определены девять перспективных рынков, в том числе "Энерджинет", направленный на развитие отечественных сквозных технологий в области энергетики и обеспечение выхода российских энергокомпаний на мировой рынок. С этой целью в рамках реализации постановления Правительства РФ было создано 14 центров компетенций Национальной технологической инициативы на базе ряда вузов, научных и про-

мышленных организаций. Об одном из них — Центре компетенций НТИ "Новые и мобильные источники энергии", созданном на базе Института проблем химической физики РАН, — говорил председатель Совета директоров Группы компаний "ИнЭнерджи" Алексей Михайлович Кашин. Центр компетенций — это фактически консорциум ведущих российских научных и образовательных учреждений, инновационных предприятий и зарубежных организаций, которые работают на создание среды опережающего развития в области мобильных источников энергии. Группа компаний "ИнЭнерджи" выступает как стратегический партнёр, формирующий устойчивую связку между академической (научные организации, университеты) и индустриальной (промышленные организации, высокотехнологичные компании) сферой для создания сквозных технологий и вывода их на глобальный рынок. Результатом такого партнёрства стало создание совместных с институтами РАН лабораторий (всего их 10), Студенческого конструкторского бюро и Бюро образования Центра компетенций для подготовки технически грамотных кадров, работающих в области электрохимических технологий. С этой целью члены консорциума создают образовательные программы и реализуют их на базе российских вузов.

К такой модели мы пришли не сразу. Но опыт А.М. Кашина показывает, что она работает. Я бы поддержал Алексея Михайловича, который сказал, что реализуемая в Центре компетенций НТИ "Новые и мобильные источники энергии" модель взаимодействия институтов РАН с индустриальными партнёрами достойна распространения.

GENERAL DISCUSSION ON PRIORITIES

Received: 03.12.2018

Accepted: 25.12.2018

Keywords: A.E. Kontorovich, S.P. Filippov, S.V. Alekseenko, V.I. Bukhtiyarov, S.M. Aldoshin.

НАУЧНАЯ СЕССИЯ ОБЩЕГО СОБРАНИЯ ЧЛЕНОВ РАН

ПРИОРИТЕТ НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ "ПЕРЕХОД К ПЕРЕДОВЫМ ЦИФРОВЫМ, ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫМ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМ ТЕХНОЛОГИЯМ, РОБОТИЗИРОВАННЫМ СИСТЕМАМ, НОВЫМ МАТЕРИАЛАМ И СПОСОБАМ КОНСТРУИРОВАНИЯ, СОЗДАНИЕ СИСТЕМ ОБРАБОТКИ БОЛЬШИХ ОБЪЁМОВ ДАННЫХ, МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ И ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА"

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ СОВЕТА ПО ПРИОРИТЕТУ АКАДЕМИК РАН И.А. КАЛЯЕВ

ВСТУПИТЕЛЬНОЕ СЛОВО ПРЕДСЕДАТЕЛЯ СОВЕТА ПО ПРИОРИТЕТУ АКАДЕМИКА РАН И.А. КАЛЯЕВА

Материал поступил в редакцию 03.12.2018 г.

Принят к публикации 25.12.2018 г.

Ключевые слова: интеллектуальные компьютерные технологии, сферы применения интеллектуальных компьютерных технологий, комплексные научно-технические программы, кадровый потенциал в области интеллектуальных компьютерных технологий, цифровой прорыв, суперкомпьютерные технологии, искусственный интеллект.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-5873894348-350>

Прежде чем доложить о результатах практической деятельности нашего совета, я хотел бы коротко рассказать о научной значимости и актуальности тематики, которой мы занимаемся.

Сам по себе термин "искусственный интеллект" — достаточно спорный, поскольку вряд ли человечество когда-нибудь сможет создать аналог человеческого интеллекта. С моей точки зрения, правильнее суть явления отражает термин "интеллектуальные компьютерные технологии" (ИКТ), то есть технологии, усиливающие и расширяющие интеллектуальные и функциональные возможности человека. К ним относят и суперкомпьютеры, решающие вычислительные задачи, с которыми человеческий мозг справиться не может, и системы поддержки принятия решений, успевающие обработать большие потоки информации и снабдить оператора вариантами правильных действий, и робототехнические системы, заменяющие человека при работе в условиях, опасных для здоровья и жизни. Но термин "искусственный интеллект" уже прижился, и его вынуждены использовать даже те специалисты, которые признают спорность этого определения.

Сегодня все ведущие государства мира формируют свои национальные программы развития интеллектуальных компьютерных технологий: правительство КНР обнародовало план по превращению страны в глобальный центр ИКТ, Франция объявила о развёртывании до 2022 г.

национальной программы в области ИКТ с бюджетом в 1,5 млрд евро, в США ежегодные затраты крупнейших корпораций в области искусственного интеллекта оцениваются в 20 млрд долл. в год, венчурные инвестиции составляют около 5 млрд долл. в год. При этом расходы на ИКТ во всём мире ежегодно увеличиваются в среднем на 50%.

По оценкам специалистов, наибольший эффект интеллектуальные компьютерные технологии принесут в ближайшее время в административном управлении и банковском секторе, здравоохранении и образовании, розничной торговле и логистике, системах безопасности и защиты окружающей среды, промышленном производстве и энергетике, сельском хозяйстве и организации городской инфраструктуры. Интеллектуальные системы обработки снимков компьютерной томографии помогут медикам оперативно выявлять очаги онкологических заболеваний; интеллектуальные системы обнаружения девиантного (нестандартного) поведения человека в толпе позволят поднять вероятность выявления потенциальных террористов; интеллектуальные системы "умный город" и "умный дом" снизят коммунальные затраты, транспортные потери; интеллектуальные "интернет-ассистенты" защитят детей от деструктивных воздействий на их психику, обеспечат новые возможности в области интернет-образования. Цифровые технологии на 40–60% позволяют снизить стоимость и сроки

создания новых конкурентоспособных изделий, объектов и систем. Они повышают скорость принятия технологических решений, сокращают издержки в производстве, ускоряют выход продукта на рынок. Важнейшую роль ИКТ будут играть и в сфере информационного противоборства.

В нашей стране влияние интеллектуальных компьютерных технологий на социально-экономическое развитие соответствует общемировым тенденциям: планируется, что к 2030 г. использование ИКТ позволит ускорить экономический рост более чем на 5% в год. Поэтому сегодня очень важным делом является формирование национальной стратегии и программы в области ИКТ, объединяющей усилия различных министерств и ведомств, госкорпораций, промышленности и бизнеса. Она должна основываться на взаимосвязанном проведении фундаментальных исследований и прикладных разработок в области ИКТ, создании передовых цифровых интеллектуальных технологий и широком их внедрении в экономику России.

Для достижения этих целей необходимо решить и проблему развития кадрового потенциала исследователей в сфере ИКТ. По оценкам специалистов, сегодня в России в области суперкомпьютерных технологий и искусственного интеллекта активно работают не более 300–400 учёных. Этого явно недостаточно.

Как на практике решаются обозначенные мной проблемы? Прежде чем ответить на этот вопрос, напомним, что в конце 2016 г. указом Президента РФ была утверждена Стратегия научно-технологического развития России до 2035 г. с целью обеспечить независимость и конкурентоспособность страны за счёт создания эффективной системы наращивания и полного использования интеллектуального потенциала науки, а также превратить науку в ключевой фактор развития.

Для продвижения Стратегии решением Совета по науке и образованию при Президенте РФ были созданы семь советов по приоритетным направлениям научно-технологического развития РФ, в том числе Совет по приоритету "Переход к передовым цифровым, интеллектуальным, роботизированным системам, новым материалам и способам конструирования, создание систем обработки больших объёмов данных, машинного обучения и искусственного интеллекта". Деятельность совета направлена на решение следующих задач:

- развитие цифровой экономики страны, в которой цифровые, интеллектуальные и робототехнические технологии будут ключевым фактором повышения производительности труда во всех сферах социально-экономической деятельности;
- повышение конкурентоспособности страны на глобальном рынке наукоёмкой продукции, соз-

даваемой с использованием цифровых интеллектуальных и робототехнических технологий;

- формирование долгосрочной стратегии и комплексных научно-технических программ в области разработки, создания и внедрения цифровых, интеллектуальных и робототехнических технологий, отвечающих большим вызовам и направленных на развитие цифровой экономики России.

Персональный состав совета утверждён приказом министра науки и высшего образования в октябре 2018 г. В совет, состоящий из 25 человек, вошли 9 членов РАН, в том числе 4 академика и 5 членов-корреспондентов, представители ведущих научных центров и университетов страны, крупного бизнеса, федеральных органов исполнительной власти и государственных корпораций. Были сформированы и утверждены следующие секции совета:

- Анализ больших данных, искусственный интеллект и машинное обучение;
- Распределённые вычисления и суперкомпьютерные технологии;
- Цифровые интеллектуальные производственные технологии;
- Интеллектуальные робототехнические системы, технологии виртуальной и дополненной реальности;
- Системы распределённого реестра и информационная безопасность;
- Новые инфокоммуникационные технологии;
- Новые материалы и способы конструирования.

На заседаниях совета были рассмотрены концепции трёх комплексных научно-технических программ (КНТП). Член-корреспондент РАН В.В. Воеводин (МГУ им. М.В. Ломоносова) представил проект концепции КНТП "Цифровой прорыв: суперкомпьютерные технологии для новых и трансформируемых рынков", ориентированный на обеспечение полноты групп суперкомпьютерных технологий, необходимых для создания новых и развития трансформируемых рынков, и формирование высокопроизводительной вычислительной инфраструктуры, которая обеспечивает качественно новый уровень развития ключевых отраслей в условиях цифровой экономики. Совет одобрил этот проект и рекомендовал его к представлению на Координационном совете и Научной сессии Общего собрания членов РАН.

Проект концепции КНТП "Фотонные и оптоинформационные технологии в новом цифровом мире", подготовленный под руководством академика РАН В.А. Сойфера и представленный профессором Р.В. Скидановым (Институт систем обработки изображений РАН), направлен на формирование сквозных технологий, исследователь-

ской и производственной инфраструктуры, системы подготовки и переподготовки кадров, которые обеспечивают значимую долю продукции и услуг российских организаций на мировом рынке фотоники и оптоинформационных технологий. Члены совета в основном одобрили этот проект и рекомендовали принять его за основу для дальнейшей доработки с учётом высказанных замечаний.

Проект концепции КНТП "Искусственный интеллект как драйвер цифровой трансформации экономики России", представленный директором Федерального исследовательского центра "Информатика и управление" академиком РАН И.А. Соколовым, нацелен на формирование национальной стратегии в области искусственного интеллекта, основанной на комплексном и взаимосвязанном проведении фундаментальных исследований и прикладных разработок в области искусственного интеллекта, создании передовых цифровых интеллектуальных технологий и их широком внедрении в различных отраслях цифровой экономики России. Проект, одобренный советом, был рекомендован к представлению на Коорди-

национном совете и Научной сессии Общего собрания членов РАН.

Сегодня вы услышите два основополагающих доклада, которые раскроют научно-техническую и практическую значимость предлагаемых комплексных научно-технических программ, получивших поддержку совета: "Суперкомпьютерные технологии в цифровом мире: теория, практика, образование" и "Теория и практика применения методов искусственного интеллекта". Кроме того, по каждому направлению будут представлены по четыре содоклада, более подробно раскрывающие прикладные аспекты применения разрабатываемых технологий в различных областях науки, техники и промышленности.

Следует отметить важную деталь: среди содокладчиков — представители пяти отделений РАН, что подчёркивает междисциплинарный характер КНТП, а также представители бизнеса и индустриального сектора экономики, что говорит о практической значимости и востребованности результатов КНТП со стороны бизнеса и промышленности.

OPENING SPEECH OF THE CHAIRMAN OF THE PRIORITY COUNCIL OF RAS ACADEMICIAN I.A. KALYAEV

Received: 03.12.2018

Accepted: 25.12.2018

Keywords: computer technologies, complex scientific and technical programs, human resources in computer science, digital breakthrough, supercomputer technologies, artificial intelligence.

СУПЕРКОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЦИФРОВОМ МИРЕ: ТЕОРИЯ, ПРАКТИКА, ОБРАЗОВАНИЕ

© 2019 г. В.В. Воеводин

*Научно-исследовательский вычислительный центр Московского государственного университета
им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия*

E-mail: voevodin@parallel.ru

Поступила в редакцию 03.12.2018 г.
Поступила после доработки 03.12.2018 г.
Принята к публикации 25.12.2018 г.

Суперкомпьютерные технологии сегодня используются повсюду, определяя конкурентоспособность науки, индустрии, государства. США, Европа, Китай и Япония вкладывают миллиарды в их развитие, продвигая национальные программы в данной области, формируя основу для будущего. Россия, недооценивая значение суперкомпьютерных технологий, не только не включается в мировой тренд, но и упускает уникальный шанс задействовать в этой сфере огромный потенциал российских специалистов. Нашей стране необходима комплексная суперкомпьютерная программа.

Ключевые слова: суперкомпьютерные технологии, параллельные вычисления, технологии параллельного программирования, сложные вычислительные задачи, промышленность, инновации, экономика, образование, комплексная программа.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-5873894351-354>

Суперкомпьютерные технологии (СКТ) сегодня оказывают заметное влияние на науку, промышленное производство, общество и государство. Они являются не только важнейшей составляющей, но и лежат в основе актуальных направлений развития многих государств, выполняя интегрирующую роль и обеспечивая лидерство в глобальной экономической конкуренции.

Суперкомпьютерные технологии — неотъемлемая часть цифровой экономики, о которой сейчас много говорят. США, Европа, Китай и Япония вкладывают миллиарды в развитие СКТ, формируя национальные суперкомпьютерные программы. Девиз комитета по конкурентоспособности США — "To out-compete is to out-compute" ("В конкурентной борьбе победит тот, кто победит в вычислениях"). Перефразируя эти слова, можно сказать: в суперкомпьютерной сфере необходимо быть лидером или, по крайней мере, владеть такими технологиями, иначе в будущем проиграешь.

Передовые компании, работающие в высокотехнологичных и наукоёмких отраслях экономики, давно сделали суперкомпьютерные вычисления частью своих технологических цепочек.

Авиа-, автомобиле- и судостроение, фармацевтика, аэрокосмическая и добывающая промышленность, энергетика — традиционные сферы, где суперкомпьютер используется как инструмент для обеспечения конкурентоспособности отрасли. Снизить издержки производства, ускорить выход на рынок, решить точнее, быстрее, перейти к задачам новой размерности — именно эти аргументы помогают предприятиям, внедряющим СКТ, занять лидерские позиции.

Важно и то, что высокопроизводительные вычисления становятся драйвером других технологий, порождая и обеспечивая не просто устойчивое, а революционное развитие множества областей: предсказательного математического моделирования, многовариантной оптимизации, искусственного интеллекта, машинного обучения, глубинного обучения, технологии работы с Большими данными (Big Data). Более того, СКТ по своей природе являются сквозными, то есть необходимыми сразу для нескольких рынков, их активно применяют как для решения приоритетных задач, так и для формирования ответов на большие вызовы, определённые Стратегией научно-технологического развития РФ. Недооценивая значение суперкомпьютерных технологий, мы упускаем не только мировой тренд, но и уникальный шанс задействовать в этой сфере огромный потенциал российских специалистов.

ВОЕВОДИН Владимир Валентинович — член-корреспондент РАН, заместитель директора НИВЦ МГУ им. М.В. Ломоносова, заведующий кафедрой суперкомпьютеров и квантовой информатики ВМК МГУ им. М.В. Ломоносова.

По состоянию на ноябрь 2018 г. лидер рейтинга самых мощных вычислительных машин мира (Тор-500) [1] — суперкомпьютер IBM Summit производительностью 200 Pflops ($200 \cdot 10^{15}$ операций в секунду). Самый мощный из российских сверхвычислителей — суперкомпьютер Московского государственного университета "Ломоносов-2" — находится в Тор-500 на 79 позиции. Россия занимает 17 место в мире по общему количеству эксплуатируемых суперкомпьютерных систем (3 суперкомпьютера в списке). Лидируют по этому показателю Китай (227 систем) и США (109), за ними следуют Япония (31), Великобритания (20) и Германия (17). Согласно данной редакции списка, в мире 429 суперкомпьютеров производительностью выше 1 Pflops, в России — лишь 2. Чтобы попасть в Топ-500 на последнее 500 место, производительность компьютера по результатам теста Linpack должна составлять 875 Tflops.

Тор-500 даёт богатую пищу для размышлений. В частности, если проанализировать место установки суперкомпьютеров, входящих в этот список, то окажется, что 54,6% систем функционируют в промышленности. Более половины самых мощных вычислительных машин мира приобретены предприятиями реальных секторов экономики, что служит убедительным аргументом целесообразности использования СКТ.

Подтверждение востребованности сверхвычислителей можно найти повсюду. Итальянская энергетическая компания Eni установила суперкомпьютер производительностью 18,6 Pflops, который занимает 15 место в Тор-500. В настоящее время это самый мощный суперкомпьютер мира, размещённый в промышленном секторе [2]. Компания D.E. Shaw Research (DESRES) на основе принципов кодизайна уже создала два поколения (в разработке третье) собственных суперкомпьютеров ANTON для поддержки молекулярно-динамических расчётов и проектирования лекарственных препаратов. Киностудия Disney в 2016 г. выпустила ленту "Книга джунглей" с бюджетом 175 млн долл. Для производства картины потребовалось 30 млн процессорочасов — весьма значительный суперкомпьютерный ресурс. При этом картина, став коммерчески успешной, заработала в мировом прокате около 1 млрд долл. Для сравнения: по данным исследования Фонда кино "Российская киноиндустрия-2017" [3], сборы от всех отечественных фильмов в 2017 г. составили 222,4 млн долл. Да, чтобы много получать, нужно много вкладывать и опираться на передовые технологии.

Несмотря на осязаемое отставание, в Российской Федерации делается попытка формирования структуры суперкомпьютерных центров в области образования и науки. Общая

производительность указанных центров — около 17,4 Pflops. Состояние суперкомпьютерного потенциала России с 2004 г. постоянно отражается в списке Тор-50 [4]. Согласно этим данным, 47 из 50 отечественных суперкомпьютеров располагаются ниже порога вхождения в мировой рейтинг. Сумма производительности всех 50 систем списка меньше, чем производительность одного упомянутого суперкомпьютера компании Eni. Создание центров в нашей стране носит догоняющий характер и осуществляется в условиях, когда отсутствует единая государственная политика развития суперкомпьютерной отрасли. При этом масштабность задач, решаемых такими центрами по всем приоритетам Стратегии научно-технологического развития РФ, абсолютно не соответствует их реальным возможностям. Между тем суперкомпьютерные ресурсы крайне востребованы. Рабочей группой Минобрнауки РФ проведён анализ потребности в СКТ в рамках федеральных органов исполнительной власти, госкорпораций и организаций, в результате чего выделено более 700 задач, для решения которых требуются суперкомпьютерные ресурсы.

У нас в стране уже есть несколько суперкомпьютерных центров, но нет соответствующей инфраструктуры. Чтобы развивать суперкомпьютерную отрасль комплексно, необходимо учитывать все её компоненты, а именно:

- суперкомпьютерные системы и среды высокой производительности;
- технологии разработки параллельных приложений;
- технологии суперкомпьютерного кодизайна;
- технологии инфраструктурной интеграции распределённых ресурсов;
- предметно ориентированные пакеты и сервисы;
- технологии веб-сервисов масштабируемого доступа;
- высокопроизводительные вычисления и смежные технологии, AI/ML/DL, Big Data;
- суперкомпьютерные технологии в промышленности, бизнесе, обществе, государстве;
- суперкомпьютерное образование;
- суперкомпьютерные технологии и государство.

В настоящее время рабочая группа, в которую входят специалисты Российской академии наук, Суперкомпьютерного консорциума университетов России, Министерства науки и высшего образования РФ и других организаций, разрабатывает Комплексную научно-техническую программу "Цифровой прорыв: суперкомпьютерные технологии для новых и трансформируемых рынков". Она направлена на использование потенциала СКТ для создания новых и трансформируемых

рынков, обеспечения качественно нового уровня развития ключевых отраслей в условиях перехода к цифровой экономике.

Группа технологий, относящихся к СКТ, — это базис, определяющий рост и развитие мировых рынков биотехнологии, включая персонифицированную медицину, разработку новых материалов, автомобиле-, судо- и станкостроение, авиакосмическую технику, разведку, добычу и транспортировку полезных ископаемых, создание функциональных продуктов питания, робототехники и др. Группа суперкомпьютерных технологий принципиально важна для обеспечения национальной безопасности, она оказывает существенное влияние на решение задач в области охраны окружающей среды, управления сложными социально-техническими системами и в целом — системами поддержки принятия решений.

Цель комплексной научно-технической программы — обеспечить полноту групп суперкомпьютерных технологий, необходимых для создания новых и трансформируемых рынков и одновременно сформировать высокопроизводительную вычислительную инфраструктуру для качественно нового уровня развития ключевых отраслей экономики.

При формировании приоритетных направлений в сфере СКТ следует иметь в виду несколько групп технологий, которые потенциально способны обеспечивать мультипликативный эффект:

- создание суперкомпьютерных систем максимальной производительности, разработка взаимосогласованных методов решения сложных вычислительных задач, технологий суперкомпьютерного кодизайна;
- организация вычислений на новых принципах — реконфигурируемых, квантовых, нейроморфных и др.;
- предсказательное суперкомпьютерное моделирование и оптимальное проектирование;
- технологии и системы искусственного интеллекта для поддержки принятия решений;
- технологии визуализации данных и человеко-машинного взаимодействия;
- облачные вычисления и суперкомпьютерные сервисы, технологии распределённых вычислений.

Реализация программы обеспечит:

- формирование в Российской Федерации на базе отдельных научных и инженерных школ, в том числе математических, сетевых платформ для генерации знаний и создания на их основе технологий, способствующих развитию национального рынка и экспансии отечественных технологий в мировую экономику;
- создание современных технологий, необходимых и достаточных для перехода к цифровой экономике, в том числе технологий цифровых

двойников реальных объектов, цифровых фабрик, цифровых моделей, технологий суперкомпьютерного кодизайна, масштабируемых пакетов и систем математического моделирования, веб-сервисов, аналитических средств работы с Большими данными, интеллектуальных производственных технологий;

- развитие и существенный рост эффективности значимых для Российской Федерации отраслей экономики за счёт их трансформации и использования потенциала суперкомпьютерных технологий, включая технологии искусственного интеллекта, работы с Большими данными;

- стабильный рост экспортного потенциала и снижение уровня импортозависимости высокотехнологичных предприятий России, повышение конкурентоспособности Российской Федерации на международном уровне за счёт участия в новых развивающихся рынках;

- вовлечение в "цифровой мэйнстрим" высококвалифицированных специалистов, способных внедрять и использовать сквозные суперкомпьютерные технологии для развития перспективных рынков, в том числе цифровой трансформации системы государственного управления, экономики, бизнеса, социальной сферы, для адаптации отечественных предприятий, которые обеспечивают ответы на большие вызовы, определённые Стратегией научно-технологического развития РФ, к стандартам цифровой экономики.

В основе комплексной суперкомпьютерной программы лежат научно-технические проекты полного инновационного цикла, то есть скоординированные и взаимосвязанные научные, научно-технические и инновационные проекты, которые проходят через определённый ряд последовательных ступеней своего развития — от получения научных и научно-технических результатов до их практического использования, создания перспективных и сквозных технологий, конкретных инновационных продуктов (услуг) и вывода их за 3–5 лет на российский и зарубежные рынки.

Каждый комплексный проект направлен на повышение уровня зрелости перспективных и сквозных технологий, устранение технологических барьеров, разрывов между существующими научно-технологическими заделами и потребностями различных секторов экономики, а также на создание опережающих заделов. Принципиально важно, что каждый комплексный проект объединяет специалистов индустрии, РАН, университетов, суперкомпьютерных центров, способствуя образованию устойчивых профессионально востребованных связей.

Исключительно важная задача — подготовка специалистов в сфере СКТ. Компьютерный мир за последние 10–15 лет полностью изме-

нился. Он всегда был последовательным, а стал параллельным: компьютеры образуют мощные кластеры, процессоры наращивают производительность за счёт растущего числа ядер, вычислительные системы разных организаций объединяются для совместного решения сложных задач. Но параллельные вычисления — это основа не только суперкомпьютерных систем. Сегодня многоядерные процессоры уже есть в смартфонах и планшетах — параллельность входит в нашу повседневную жизнь. Суперкомпьютерные технологии начинают проникать в высшее образование. Однако в силу междисциплинарности и универсальности СКТ изменения должны проходить решительнее и идти широким фронтом. Одним

словом, России необходима комплексная суперкомпьютерная программа, и медлить нельзя.

ЛИТЕРАТУРА

1. Список 500 самых мощных суперкомпьютеров мира. <https://www.Top500.org>.
2. Eni Takes the Lead in Industrial Supercomputing. <https://www.hpcwire.com/2018/01/23/eni-takes-lead-industrial-supercomputing/>
3. Российская киноиндустрия-2017. Аналитическое исследование. М., 2018. <https://www.fond-kino.ru/documents/download/740/>
4. Список 50 самых мощных суперкомпьютеров России. <http://top50.supercomputers.ru>

SUPERCOMPUTING TECHNOLOGIES IN THE DIGITAL WORLD: THEORY, PRACTICE, EDUCATION

© 2019 V.V. Voevodin

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

E-mail: voevodin@parallel.ru

Received: 03.12.2018

Revised version received: 03.12.2018

Accepted: 25.12.2018

Supercomputing technologies are used in almost all fields of science today, and determine the competitiveness of science and industry among national entities. USA, Europe, China, and Japan are investing billions in the development of supercomputing technologies, promoting national programs for the development of this field, and these programs will determine the success of future developments. The underestimation of the value of supercomputing technologies has led Russia to fall behind in global trends, and squanders the enormous potential of Russian specialists in computer science. Russia needs a comprehensive supercomputer program, and cannot delay its enactment.

Keywords: supercomputing technologies, parallel computing, parallel programming technologies, large problems, industry, innovations, economics, education, national program.

ВЫСТУПЛЕНИЕ АКАДЕМИКА РАН С.Л. ЧЕРНЫШЕВА И ЧЛЕНА-КОРРЕСПОНДЕНТА РАН А.Н. ШИПЛЮКА

Материал поступил в редакцию 03.12.2018 г.

Принят к публикации 25.12.2018 г.

Ключевые слова: суперкомпьютерные технологии, аэрокосмическая техника, летательный аппарат, проектирование, компьютерные модели, программные средства, универсальный национальный компьютерный код.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-5873894355-357>

Бурное развитие вычислительной физики в последние 30 лет, связанное со стремительным ростом производительности вычислительной техники и созданием коммерческих и открытых программных пакетов, сделало суперкомпьютерные технологии доступными для широкого круга инженеров и исследователей. Роль вычислительных технологий в разработке современной аэрокосмической техники постоянно повышается.

Надёжные средства численного расчёта позволяют существенно снизить стоимость и продолжительность экспериментальных работ, в частности, при проведении сертификационных испытаний, а также дополнить экспериментальные результаты более глубоким анализом физических процессов, включая протекающие в реактивных двигательных установках и при взаимодействии обтекаемого тела с потоком газа.

За последние 10 лет в использовании вычислительных методов произошёл переход от отдельных оптимальных решений по дисциплинам (аэродинамика, прочность, аэроакустика и др.) к оптимальным многодисциплинарным решениям. Идёт постоянное усложнение применяемых моделей — от упрощённых потенциальных или невязких течений до течений, описываемых полными уравнениями Навье—Стокса с различными моделями турбулентности. К примеру, новые методы суперкомпьютерного моделирования при проектировании аэродинамической компоновки современного российского самолёта МС-21 позволили достичь высокого аэродинамического совершенства на толстом крыле большого удлинения с уровнем качества $K=18,2$, что является главным показателем конкурентоспособности этого авиалайнера в сравнении с воздушными судами аналогичного класса компаний "Боинг" и "Аэробус".

Сегодня на основе многодисциплинарных подходов можно надёжно определять аэродинамические характеристики самолёта, на которые наиболее существенное влияние оказывают фюзеляж, механизированное крыло с предкрылком

и закрылком, пилоны, мотогондолы, крепления предкрылка и обтекатели механизмов выдвижения закрылков, а также вихрегенераторы на мотогондолах. При этом в задаче обтекания решаются уравнения Рейнольдса в частных производных в трёхмерной постановке. Для подобного расчёта аэродинамики самолёта в сложной взлётно-посадочной конфигурации с учётом работы силовой установки требуются сетки со 100–150 млн ячеек, типичное время расчёта может составлять несколько дней — это сегодняшний вычислительный уровень, достигнутый на существующих в России супер-ЭВМ. Конечно, на практике вычислительные методы и используемые программные пакеты должны быть надёжно валидированы на предмет точного соответствия расчётных моделей физическим явлениям.

Более сложная задача заключается в одновременном расчёте и оптимизации аэродинамических и аэроакустических характеристик летательного аппарата (ЛА). Так, результаты численного моделирования шума системы самолёт — крыло — двухконтурное сопло с горячей турбулентной струёй вблизи крыла с помощью программы, разработанной Центральным аэрогидродинамическим институтом (ЦАГИ) им. профессора Н.Е. Жуковского на основе полных нестационарных уравнений Навье—Стокса, потребовали достаточно подробных сеток с 200 млн ячеек. Такая густая сетка необходима для корректного вихре-разрешающего моделирования и получения статистически достоверных оценок спектров шума турбулентного течения. Характерное расчётное время одной точки составляет около недели.

В задачах аэродинамического проектирования используются всё более сложные модели течения, описывающие вихревую физику обтекания. В настоящее время идёт бурное развитие моделей на основе метода крупных вихрей (LES и DES), а также совершенствование методов прямого численного моделирования, что очень важно для задач распространения звука и моделирования отрывного обтекания в турбулентном

течении. В качестве достижения в этой области можно упомянуть работу Института прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН и ЦАГИ по моделированию аэродинамики и аэроакустики крыла со сложной механизацией в посадочном положении, которая выполнена под руководством академика Б.Н. Четверушкина.

Современные модели течений позволяют приступить к решению таких сложных задач, как исследование шума винта вертолёта в составе планера с целью его минимизации. Обнадёживающие результаты получены в совместной работе ЦАГИ и Сколковского института науки и технологий на основе пакета программ Пи-7, разработанного под руководством академика А.П. Кулешова.

Следующий сложный класс задач связан с численным моделированием высокоскоростных многофазных течений с множеством протекающих реакций. Проблема усложняется тем, что в гиперзвуковом течении около летательного аппарата проявляется полный набор атомно-молекулярных высокотемпературных физических явлений, включая разреженность, релаксацию внутренних степеней свободы, многокомпонентную диффузию, диссоциацию и рекомбинацию как в потоке, так и на стенке, ионизацию, радиацию и неравновесность (термическую, химическую и термодинамическую). Эти явления проявляются в макроскопической форме в виде широкого диапазона изменения определяющих критериев подобия — чисел M , Re , Kn , Dam , Sc , Le и др.

Достигнутый сегодня уровень — прямое численное моделирование течения газа с учётом неравновесных физико-химических процессов с двумя десятками химических реакций горения углеводородов, корректно описывающих взаимодействие турбулентности с горением и многофазные эффекты, например, горение и испарение капель, частицы сажи и т.п. Решение данной задачи критически важно при создании нового поколения высокоскоростных летательных аппаратов с гиперзвуковым прямоточным воздушно-реактивным двигателем.

Для возвращаемых и других высокоскоростных ЛА, осуществляющих полёт на очень больших (свыше 80 км) высотах, гипотеза сплошной среды уже не работает, и для описания течений требуются методы прямого статистического моделирования (ПСМ). Так, большая серия расчётов аэротермодинамических характеристик возвращаемого аппарата "Федерация" была выполнена с использованием ПСМ на основе пакета программ Института теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича СО РАН для диапазона высот 85–100 км. К особенностям методов ПСМ можно отнести достаточно высокие требования к вычислительным ресурсам, которые с умень-

шением высоты полёта ЛА возрастают экспоненциально. Ключ к успеху — пакет программ с параллельными алгоритмами, ориентированный на компьютеры с параллельной архитектурой петафлопсного класса. При этом следует отметить, что применение графических процессорных устройств по сравнению с использованием обычной архитектуры обеспечивает более высокую эффективность вычислений.

Одним из заметных достижений последнего времени можно назвать успешные попытки создания единого пакета специализированных компьютерных кодов для расчётного анализа аэротермодинамики и газодинамики всех типов гиперзвуковых ЛА в широком диапазоне высот и скоростей полёта. Такой национальный пакет программ, в частности, создаётся под руководством академика С.Т. Суржикова в Институте проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН в кооперации с другими организациями. В программах, кроме основных газодинамических особенностей высокоскоростного течения в физических уравнениях, учитывается тепловое излучение на больших высотах. Результаты расчётов впечатляют, в особенности на фоне продолжающегося увеличения мощности супер-ЭВМ.

Другим примером универсального национального компьютерного кода является программный комплекс "Логос", разработанный специалистами входящего в Госкорпорацию "Росатом" ВНИИ экспериментальной физики. Он вобрал в себя многие типы течений и классы решаемых задач. Так, достигнутый в этой области уровень демонстрируют результаты моделирования обтекания полной компоновки современного манёвренного самолёта нестационарным потоком на больших углах атаки с развитыми отрывными зонами. Один расчёт на 200 ядрах занимает 170 ч на сетке размерностью 32 млн ячеек.

Широкое применение суперкомпьютерных технологий позволяет решать задачу проектирования летательных аппаратов по-новому. В инновационном подходе создаётся компьютерная модель ЛА, по сути, — это его цифровой двойник. Компьютерная модель включает:

- комплекс специализированных программ моделирования напряжённо-деформированного и теплового состояний, аэрогазодинамических и гидравлических течений, описывающих обтекание летательного аппарата и его отдельных элементов в реальных условиях эксплуатации;
- единую базу данных, содержащую подробную информацию по постановке задач, тестированию, верификации и валидации программ, подтверждающих достоверность численного моделирования прочности, тепломассопереноса, аэрогазодинамики, аэроакустики ЛА в целом

и его отдельных элементов (планера, двигателей, подвесных грузов и т. д.).

При этом в единую систему объединены базовый ряд суперкомпьютеров различной производительности, высокоскоростные каналы связи, пакеты программ с высокой степенью распараллеливания.

Показательным примером применения суперкомпьютерных технологий для задач авиастроения стало использование имитационного моделирования на супер-ЭВМ в целях сертификации новых российских пассажирских самолётов Сухой Суперджет-100 (SSJ-100) и МС-21. Достигнута высокая степень использования вычислений для обоснования надёжности и безопасности самолёта SSJ-100 в возможных аварийных ситуациях без полномасштабных экспериментальных работ. Обычно для этих целей строятся натурные макеты и стенды, стоимость которых вместе с испытаниями составляет сотни миллионов рублей. Имитационное моделирование на супер-ЭВМ получило высокую оценку сертифицирующих органов, впервые в России по этим пунктам самолёт Сухой Суперджет-100 был сертифицирован на основании расчётов без экспериментов,

что позволило сократить сроки реализации проекта и затраты на него.

Внедрение суперкомпьютерных технологий в авиастроении позволяет:

- перейти на новую систему проектирования и поддержания жизненного цикла летательных аппаратов;
- использовать трёхмерное моделирование с имитацией реальных условий эксплуатации без упрощений и допущений;
- создавать дискретные модели не с десятками, а с сотнями миллионов или миллиардов ячеек;
- решать задачи с реальными граничными условиями эксплуатации техники;
- проводить преимущественно модельные виртуальные, а не физические эксперименты.

Цифровые двойники ЛА, виртуальные испытания и сертификация — это дело ближайшего будущего или даже, по некоторым элементам, уже настоящее. Внедрение суперкомпьютерных технологий в будущем может исключить доработку самолёта, снизить технические риски, повысить информативность решения инженерных задач, обеспечить создание обширной базы знаний для развития на перспективу.

SPEECH OF THE ACADEMICIAN OF RAS S.L. CHERNYSHEV AND CORRESPONDING MEMBER OF RAS A.N. SHIPLYUK

Received: 03.12.2018

Accepted: 25.12.2018

Keywords: supercomputer technologies, aerospace engineering, aircraft, design, computer models, software, universal national computer code.

ВЫСТУПЛЕНИЕ АКАДЕМИКА РАН Б.Н. ЧЕТВЕРУШКИНА

Материал поступил в редакцию 03.12.2018 г.

Принят к публикации 25.12.2018 г.

Ключевые слова: высокопроизводительные алгоритмы, математическое обеспечение, суперкомпьютерные технологии.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-5873894358-359>

Я хочу остановиться на одной проблеме использования суперкомпьютерных технологий, с которой лицом к лицу столкнулись наши зарубежные партнёры, обладающие большими вычислительными системами, и наверняка столкнёмся мы в ближайшие годы.

Напомню, что сейчас самая большая вычислительная система Соединённых Штатов Америки имеет производительность 200 петафлопсов, к 2023 г. планируется создать машину производительностью в 1 эксафлопс (1000 петафлопсов), то же самое к тому времени планируют сделать страны ЕЭС и Китай. Формирование суперкомпьютерной отрасли — дело недешёвое. Стоимость одной такой системы — около миллиарда евро. Но многие идут на эти затраты, так как современные суперкомпьютерные технологии становятся важнейшим фактором научно-технического и социального развития стран. В России самый мощный суперкомпьютер "Ломоносов-2", построенный в Научно-исследовательском вычислительном центре МГУ им. М.В. Ломоносова, имеет производительность 5 петафлопсов. Понятно, что скоро и у нас появятся, даже в силу геополитического положения России, вычислительные системы большей мощности. Это первое и обязательное условие для дальнейшего развития суперкомпьютерных технологий.

Второе условие связано с необходимостью поддержки направления со стороны властных структур. Здесь ситуация стала значительно лучше, чем была 5—7 лет назад, когда задавались вопросом, зачем нам нужны суперкомпьютеры. Сейчас их значение для решения задач в прорывных областях науки понимают гораздо лучше, тем не менее денег на эти цели по-прежнему выделяют мало. Поэтому нам надо продолжать работать с властью.

Третье условие, способствующее успешному развитию суперкомпьютерных технологий, — наличие квалифицированных кадров. Член-корреспондент РАН В.В. Воеводин говорил о массовой подготовке кадров, а я хочу остановиться на элитной. Что нужно знать специалисту высшей квалификации? Системное программирование, прикладную математику, тенденции развития со-

временных архитектур вычислительной техники, прикладные области. Таких специалистов может быть немного, но именно они являются двигателем суперкомпьютерных технологий.

Я перечислил очевидные задачи. Менее очевидной, но не менее важной является другая проблема — разработка алгоритмов и математического обеспечения для систем сверхвысокой производительности. Здесь кроется определённая интрига, на что я и хочу обратить внимание.

Считается (даже в научной среде), что если поставим в 100 раз более мощную машину, то решим в 100 раз более сложную вычислительную задачу. Это не так. На самом деле, когда задействовано много вычислительных ядер, они начинают мешать друг другу. Мы хотим использовать большие машины, но делать это, как правило, очень сложно. Наши коллеги за рубежом имеют системы мощностью 10 и более петафлопсов, а задач, требующих машин петафлопсной производительности, мало. Проблема носит фундаментальный характер и связана с трудностями адаптации алгоритмов и прикладного обеспечения к системам с экстремально высоким параллелизмом. Особенно остро она стоит для систем гибридной архитектуры, которые будут доминировать вплоть до создания эксафлопсного суперкомпьютера. Решить её можно только средствами фундаментальной науки. Если не сделаем этого, то на наших высокопроизводительных машинах будут рассчитываться не крупные, а только десятки тысяч мелких задач. И тогда они станут напоминать автомобили, в баки которых не залили бензин.

Над этой проблемой сейчас интенсивно работает суперкомпьютерное сообщество, что видно по числу конференций, симпозиумов, публикаций. Ситуация в каком-то смысле напоминает начало 1950-х годов прошлого века, когда с появлением первых ЭВМ в СССР и в Соединённых Штатах Америки за короткий срок независимо были заложены основы современной прикладной математики и программирования, далее получившие своё развитие. Сейчас происходит то же самое: качественный скачок, своего рода революция в прикладной математике и системном програм-

мировании. Появляются новые подходы, которых раньше не было, но на них надо обращать внимание. Если мы не овладеем новыми технологиями, использование вычислительных систем сверхвысокой производительности в различных направлениях науки станет невозможным.

Часто говорят, что мы отстаём в развитии суперкомпьютерных технологий. Это не совсем справедливое утверждение. В данной области знаний мы неплохо смотримся на мировом уровне. Например, когда организуем конференции, посвящённые высокопроизводительным вычислениям, активное участие в них принимают зарубежные партнёры, желающие сотрудничать с нами, при этом готовые пригласить на работу наших ведущих специалистов. Правда, это опасная тенденция: высококвалифицированные кадры должны оставаться в своей стране.

У России есть конкурентные преимущества, которые необходимо использовать, в частности в создании сверхвысокопроизводительного программного продукта. В этой области мы можем стать не догоняющей страной, а лидером, хотя выходить на эти позиции сейчас очень трудно. Пока мы только "отбиваем" свой рынок, который заня-

ли зарубежные программные продукты, потому что опоздали на 12–15 лет. Но в этой области мы не должны упустить своих шансов. Математика может помочь и уже помогает развиваться российской элементной базе, в том числе в решении проблем отказоустойчивости с помощью соответствующих алгоритмов.

На суперкомпьютерных технологиях экономить нельзя. Надо создавать несколько вычислительных центров федерального и регионального уровней. Сейчас мы подготовили от имени институтов, находящихся под научно-методическим руководством Академии наук, соответствующее обращение в Правительство РФ. Но, наверное, надо думать и об активном участии в нашей деятельности университетов.

В заключение хочу сказать, что создание в РАН установки производительностью около 10 петафлопсов станет, учитывая компетенцию сотрудников институтов, полигоном для развития современных суперкомпьютерных технологий. Всегда было так, когда формировались перспективные отрасли. Помните: вначале появился экспериментальный реактор, а потом — реакторы большой мощности.

SPEECH OF ACADEMICIAN OF RAS B.N. CHETVERUSHKIN

Received: 03.12.2018

Accepted: 25.12.2018

Keywords: high-performance algorithms, mathematical support, supercomputer technologies.

**ВЫСТУПЛЕНИЕ ЧЛЕНА-КОРРЕСПОНДЕНТА РАН С.А. ТИХОЦКОГО
И ГЕНЕРАЛЬНОГО ДИРЕКТОРА ООО "ГАЗПРОМНЕФТЬ НТЦ"
ДОКТОРА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК М.М. ХАСАНОВА**

Материал поступил в редакцию 03.12.2018 г.

Принят к публикации 25.12.2018 г.

Ключевые слова: геолого-геофизическая отрасль, разведка и разработка месторождений полезных ископаемых, высокопроизводительные вычисления, анализ Больших данных.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-5873894360-361>

Представители геолого-геофизической и горно-добывающей отраслей наряду с военными всегда были основными потребителями вычислительных ресурсов с момента возникновения первых ЭВМ. Это направление отвечает двум приоритетам Стратегии научно-технологического развития РФ: "Переход к передовым цифровым, интеллектуальным, роботизированным системам, новым материалам и способам конструирования, создание систем обработки больших объёмов данных, машинного обучения и искусственного интеллекта" и "Повышение эффективности добычи, глубокой переработки углеводородного сырья".

Почему применение высокопроизводительных вычислений так важно для геолого-геофизического направления? С этой трибуны академик РАН А.Э. Конторович сказал, что мы стоим перед проблемой истощения запасов традиционных углеводородов. Иными словами, разведанных запасов простой в добыче нефти у нас осталось совсем немного. По разным оценкам, "лёгкой" нефти нам хватит до конца 2030-х — начала 2040-х годов. Кроме того, нет перспектив открытия крупных месторождений традиционного типа. Это значит, что для сохранения уровня добычи в будущем необходимо решать сложнейшие технологические задачи моделирования физических, физико-химических процессов в пласте, которые протекают в ходе добычи, причём делать это максимально эффективно, имея в виду скорость вычисления. Следует отметить, что для ряда задач вычисления надо производить в реальном времени, то есть следить, как бурится скважина, что происходит в пласте по мере повышения или понижения пластового давления. Всё это можно делать только с помощью высокопроизводительных вычислений. Я остановлюсь на нескольких примерах.

Рассмотрим типичную задачу при сейсмической разведке месторождений — моделирование сейсмического волнового поля. Если небольшое месторождение, то только для обработки одного источника нам нужно сделать 1021 операцию в секунду, что соответствует вычислительной мощности примерно в 1 эксафлопс, а источников может быть десятки тысяч. Чтобы их обсчитать за обозримое

время, нам нужны вычислительные центры с производительностью пета- и эксафлопсного уровня, о которых говорилось в предыдущих докладах.

К счастью, у нас есть хорошие разработки эффективных алгоритмов с высокой степенью параллелизма, предложенные различными организациями, в частности, Институтом прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН, Институтом нефтяной геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, Вычислительным центром МГУ им. М.В. Ломоносова. Но если в решении фундаментальных задач (наработка алгоритмов — в этом ряду) мы достигли высокого уровня, во многом опережающего мировой, то результатами использования научной идеи при переходе из лаборатории в производство похвастаться не можем.

Сейчас примерно 90% рынка геолого-геофизического программного обеспечения представлено зарубежными продуктами. Однако нельзя сказать, что в этой области ничего не делается. Весной 2018 г. Научно-технический центр компании "Газпромнефть", который возглавляет мой уважаемый содокладчик, вместе с компанией "Яндекс Терра" (ООО "СейсмоТек") завершили двухлетнюю программу тестирования комплекса отечественного программного обеспечения "Prime" для обработки и интерпретации сейсморазведочных данных. Практическая работа доказала возможность решения задач производственной обработки и последующей интерпретации результатов сейсмического проекта с использованием только российского программного обеспечения. Обработка сейсмического материала в системе "Prime" позволила увеличить объём получаемой полезной геологической информации. Применение российского цифрового решения привело к качественному улучшению результата, в частности, удалось получить более высокий уровень детальности изображения, на 20–30% превышающий показатели зарубежного конкурента, а в интерпретации данных — уточнить сейсмогеологическую модель месторождения и объём запасов, а также определить оптимальную систему разработки.

Сейчас на завершающей стадии находится российско-белорусская программа "Скиф—Недра",

в рамках которой проходит испытание высокопроизводительного программно-аппаратного комплекса — суперкомпьютера с программным обеспечением для обработки и моделирования геолого-геофизических данных, способствующих решению актуальных и перспективных задач при поиске, разведке и разработке месторождений углеводородного сырья и других полезных ископаемых. Пользователи данных комплексов получают готовый инструмент с программным обеспечением, который можно будет использовать не только в корпоративных центрах нефтегазодобывающих и нефтегазосервисных компаний, но и на скважине в полевых условиях, на борту сейсмического судна или плавучей буровой платформы. В разработке проекта активное участие приняли академические институты и вузы, а также ряд технологических инновационных компаний, которые созданы вокруг научных организаций и высшей школы.

До сих пор мы говорили об импортозамещении, а теперь несколько слов об импортоопережении.

Гидродинамическое моделирование (то есть моделирование процесса перетекания флюида в пласте в ходе разработки месторождения) — это уже стандарт де-факто и де-юре при подготовке и сопровождении разработки месторождений. Государственная комиссия по запасам полезных ископаемых, которая несёт ответственность за обоснованность оценки достоверности запасов, подготовленности месторождений для промышленного освоения и пригодности участков недр для их использования, не поставит запасы на учёт, если не будет выполнено гидродинамическое моделирование.

Но мы хорошо понимаем, что при разработке месторождения углеводородов, в особенности трудноизвлекаемых, где требуется активное воздействие на пласт (например, методом гидроразрыва, или внутрипластового горения, изобретённого в 1930-е годы в Советском Союзе), необходимо не только следить, как течёт нефть и другие флюиды, но и понимать, как меняется напряжённо-деформированное состояние пласта. В противном случае возрастает потенциальный риск аварий.

Что предлагает для решения этих задач наша вычислительная наука? Комплекс на базе двух отечественных разработок: программного продукта tNavigator — параллельного интерактивного

пакета для гидродинамического моделирования пласта, созданного российской компанией "Rock Flow Dynamics", и программного продукта CAE Fidesys нового поколения, разработанного выпускниками и сотрудниками мехмата МГУ из компании "Fidesys", который позволяет осуществлять полный цикл прочностного инженерного анализа. В результате объединения этих двух продуктов мы сможем не только наблюдать процессы, происходящие в пласте, но и оптимизировать режим, повышая извлекаемость запасов. Однако пока мы находимся на полпути, потому что для решения нашей задачи необходимо построить сопряжённую вычислительную систему, где элементы или алгоритмы взаимодействия не вступают в противоречие друг с другом.

Следует сказать о необходимости использования технологий Больших данных (Big Data), которые в ближайшей перспективе займут одно из важных мест в технологическом портфеле энергетического сектора. Посредством такого инструмента, как Big Data, успешно решается широкий круг задач: поиск объектов-аналогов, обработка массивов данных сейсморазведки, восстановление исторических эксплуатационных данных, анализ данных исследований в масштабах месторождения, выявление и прогнозирование осложнений в режиме реального времени и т. п. Российские нефте- и газодобывающие компании активно занимаются анализом и обработкой цифровой информации, развивая и внедряя технологии Big Data.

Резюмируя, можно сказать, что задачи разведки и разработки месторождений углеводородов (как и других полезных ископаемых) требуют высокопроизводительных вычислений и создания алгоритмов с использованием современных технологий. В ряде академических институтов и ведущих вузов есть разработки по данному направлению, опережающие мировой уровень. Опыт сотрудничества нефтяных компаний с научными организациями и вузами показывает, что для их коммерциализации и внедрения необходимо формировать консорциумы с участием заинтересованных нефтяных компаний. Такой консорциум, в частности, может быть создан, как предусматривает Национальный проект "Наука", в виде Научно-образовательного центра. Для координации работ целесообразно создать научный совет при президиуме РАН.

SPEECH OF CORRESPONDING MEMBER OF RAS S.A. TIKHOTSKY AND CEO OF GAZPROMNEFT NTC DOCTOR OF ENGINEERING M.M. KHASANOV

Received: 03.12.2018

Accepted: 25.12.2018

Keywords: geological and geophysical industry, exploration and development of mineral deposits, high-performance computing, big data analysis.

**ВЫСТУПЛЕНИЕ ПЕРВОГО ЗАМЕСТИТЕЛЯ ГЕНЕРАЛЬНОГО
ДИРЕКТОРА АКЦИОНЕРНОГО ОБЩЕСТВА "НАУКА И ИННОВАЦИИ"
ГОСКОРПОРАЦИИ "РОСАТОМ"
ДОКТОРА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК А.В. ДУБА**

Материал поступил в редакцию 03.12.2018 г.

Принят к публикации 25.12.2018 г.

Ключевые слова: атомная энергетика, жизненный цикл изделия, "Росатом", свойства материала, аддитивные технологии.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-5873894362-364>

Характеризуя развитие производственных технологий применительно к атомной энергетике, необходимо учитывать, во-первых, весьма длительные сроки испытаний новых изделий, во-вторых, отсутствие возможности определять ресурс конструкции для каждого следующего этапа её жизненного цикла лишь из оценки текущего состояния при эксплуатации. Это значит, что в проектах для атомной энергетике мы должны обосновывать ресурс изделия на весь его жизненный цикл, и только в рамках этих нормативов может строиться научно-техническое развитие.

С учётом того, что Госкорпорация "Росатом" сейчас ориентируется на зарубежный рынок и имеет большую часть внешних заказов, недопустимо обходить вопросы новых тенденций, стандартов, новых расчётных технологий. Мы не можем не учитывать императив, который был объявлен президентом Соединённых Штатов Америки Б. Обамой: сокращение в 2 раза времени для внедрения новых материалов в изделия, производственные системы и процессы.

Для поддержания или опережения этих темпов наиболее актуальным следует считать, во-первых, решение задачи объективизации процессов на основе внедрения цифрового производства и цифровых двойников, во-вторых, расширение использования расчётов вместо краштестов. Более того, эти положения становятся основой новых нормативных документов, а быть лидером по производству продуктов и при этом не быть лидером в нормативных документах, на основе которых оценивается их безопасность и потребительские качества, можно только при ориентации на ограниченный рынок.

Переходя собственно к технологическим аспектам, следует осознать, что за счёт появления новых технологий происходит трансформация классического использования понятия "свой-

ства материала" в "свойства изделия". С этим уже сталкиваются все ответственные производители не только в энергетике, но и в авиации, судостроении, автомобилестроении, медицине и в других отраслях.

Мы исходим из того, что достигнутый уровень развития традиционных современных технологий действительно позволяет контролировать или убирать грубые несоответствия — дефекты. А для перспективного производства необходимо закладывать такие воздействия, которые адекватны механизмам формирования свойств материалов, то есть надо учитывать весь масштаб структуры, начиная от микромасштаба. Кроме того, мы обязаны принимать во внимание локальные взаимодействия, причём не только химические, но и энергетические. Соответственно, количество таких расчётов и точек в каждом материале кратно возрастает, а значит, появляются новые технологические и материаловедческие принципы, описание которых должно основываться на цифровизации, то есть значимости, достаточности и объективности информации для передачи состояния. Таким образом, при кратном увеличении факторов воздействия переход на научно обоснованные методы вычисления составов возможных кандидатных материалов, который базируется на комплексных моделях, включающих первопринципные расчёты, становится реальностью.

В общем виде этот подход можно описать, представив материал как многоуровневую систему "микро—мезо—макро". Он означает, что свойства материалов со сроком службы 60 и более лет должны определяться поведением структурных составляющих, формирование которых закладывается уже при кристаллизации, то есть начиная от классических фазовых переходов первого рода. Результаты показали, что существующее предкристаллизационное состояние при после-

довательном затвердевании обязательно включает относительно стабильные энергетические образования — кластеры. При этом уже на микро/нано уровнях необходимо учитывать, исходя из влияния на кластерную структуру, так называемые удобные и неудобные примеси, часть которых традиционно вообще не рассматривалась при разработке материалов и технологий производства. Причём учитывать в содержаниях, иногда находящихся на пределе технологических возможностей массового обеспечения и контроля. Нами выстроен ряд элементов P, Si, C, S, O, H, N, Al, Mn по степени их негативного влияния на создание первичной кристаллической структуры на основе железа. Аналогичные зависимости существуют и для сплавов на основе других элементов.

Соответственно, можно прогнозировать эффект воздействия на материал и даже путём относительно сложных расчётов посчитать его энергию за счёт резонанса, управляя таким образом структурой и размером кластеров. Исходя из этого, целью становится поиск параметров и эффективных способов энергетического воздействия (например, лазерным излучением, пучком ионов или нейтронов) и, как следствие, формирование первичной структуры вещества при кристаллизации. Новые технологии (часть из них наплавочные, аддитивные) весьма восприимчивы к излучению. Материаловеды и технологи традиционно пытались использовать его, но эффект был неоднозначным или незначимым вследствие диссипации в объёме.

Следующий уровень масштаба структуры — мезоуровень — подразумевает изучение материала с эффектом традиционных включений. В качестве примера представим феррито-мартенситные материалы (ФМ) для тепловой энергетики, когда за счёт изменения состава (с карбидов на нитриды) удалось снизить характерный размер величины упрочняющей фазы с 60 до 25 мкм, что позволило увеличить температуру эксплуатации ФМ с 610 до 650°C и достичь параметров суперсверхкритики. Полученные результаты можно рассматривать, с одной стороны, как расчёт, а с другой — как эксперимент: уменьшая размер упрочняющей фазы до 25 нм, мы повысили эксплуатационную температуру, тем самым кратно увеличив срок эксплуатации ФМ при классических температурах. Обращаю внимание, что и в первом, и во втором случае исходные расчёты существенно сократили время и затраты на экспериментальное подтверждение.

Далее рассмотрим эффект радиационного воздействия. Никогда в феррито-мартенситных

материалах при термическом воздействии образование упрочняющей G-фазы не обнаруживали и не прогнозировали, а при радиационном воздействии она проявилось. Выделяющиеся включения имеют размер примерно 15 нм, при этом распределены они фактически равномерно по всему объёму ФМ, это позволяет по-другому прогнозировать и управлять их свойствами. Данный механизм упрочнения, который ранее просто не учитывался, в настоящее время нельзя не использовать при прогнозе свойств и ресурса материала.

Широко применяемых в атомной энергетике методик макромоделирования и расчёта свойств изделий касаться не будем, поскольку они хорошо известны.

Более серьёзного отношения требует использование последовательных и аддитивных технологий. Обращаю внимание на следующие оценки: аддитивные технологии дают возможность повысить уровень крупноузловой сборки с 10 раз в 2021 г. до 30 раз (!) в 2035 г. и снизить затраты на производство деталей на 90 и 98% соответственно. Кроме того, аддитивные технологии — цифровые, то есть очень жёсткие. Это значит, что без объективизации описания и контроля каждого этапа производства получать изделия, имеющие в 10 раз меньшую массу при сохранении потребительских свойств, уже невозможно. Следовательно, без цифрового двойника прогнозировать результат и проводить последующую сертификацию изделий нецелесообразно.

На базе ПО "Логос" (Российский федеральный ядерный центр — ВНИИ экспериментальной физики) в кооперации с Национальным исследовательским центром "Курчатовский институт", институтами Академии наук мы выстраиваем вычислительную платформу, требующую суперкомпьютерных вычислений. Это позволит оптимизировать структуры и получать изделия, в том числе с ячеистыми структурами, которые отвечают требуемым эксплуатационным свойствам, а также проводить полный цикл цифровых испытаний в течение трёх месяцев.

Обращаю внимание, что и этот продукт основан на многоуровневом подходе, изложенном в самом начале. Конечная цель — обеспечить к 2024 г. проведение цифровой сертификации как полноценного элемента цифрового двойника. При этом мы понимаем, что без непрерывной онлайн-передачи информации о фактическом состоянии материалов улучшать их надёжность в сжатые сроки будет невозможно. Таким образом, для сокращения требуемого времени обоснования ресурса все новые материалы, которые

мы предполагаем использовать в перспективных проектах атомной энергетики и энергетики в целом, должны быть включены в систему Больших баз данных. Без этого новые нормативы будут неэффективными. Это значит, что предска-

тельные вычисления (математическое материаловедение) наряду с ускоренными испытаниями становятся основой выбора кандидатных решений новых производственных технологий получения перспективных изделий.

**SPEECH OF THE FIRST DEPUTY CEO OF THE JOINT STOCK COMPANY
"SCIENCE AND INNOVATIONS" OF THE ROSATOM STATE CORPORATION
DOCTOR OF ENGINEERING SCIENCES A.V. DUB**

Received: 03.12.2018

Accepted: 25.12.2018

Keywords: atomic energy, product life cycle, Rosatom, material properties, additive technologies.

ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

© 2019 г. И.А. Соколов

*Федеральный исследовательский центр
"Информатика и управление" РАН, Москва, Россия*

E-mail: isokolov@ipiran.ru

Поступила в редакцию 03.12.2018 г.
Поступила после доработки 03.12.2018 г.
Принята к публикации 17.01.2019 г.

Искусственный интеллект — междисциплинарное научное направление, возникшее около 60 лет назад на стыке психологии, лингвистики, математических методов и компьютерных наук. Экспериментальная в своей основе наука сегодня выработала ряд собственных методов: представления знаний, моделирования рассуждений и поведения, интеллектуального анализа текстов и данных. В рамках искусственного интеллекта возникли новые самостоятельные научные и прикладные дисциплины: немонотонные и дескриптивные логики, эвристическое программирование, экспертные системы и технологии программирования, основанные на знаниях. Возросший в последние годы интерес к искусственному интеллекту связан с развитием на базе перечисленных методов новых перспективных технологий, в частности, обнаружения знаний в базах данных (или, как принято говорить сегодня, машинного обучения), обработки естественного языка, автономных непилотируемых интеллектуальных систем, гибридного человеко-машинного интеллекта.

Ключевые слова: методы искусственного интеллекта, фундаментальные исследования в области искусственного интеллекта, технологии искусственного интеллекта, области применения искусственного интеллекта, перспективы развития искусственного интеллекта.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-5873894365-370>

В настоящее время технологии искусственного интеллекта являются одним из основных драйверов экономического роста во всех развитых странах, коренным образом меняют жизнь обычных людей, работу бизнеса и государства. Этим объясняется резкий всплеск интереса к методам искусственного интеллекта.

Следует подчеркнуть, что искусственный интеллект — общепринятый термин, которым специалисты обозначают (возможно, не очень удачно) междисциплинарное научное направление, возникшее немногим более 60 лет назад и нацеленное на развитие методов решения сложных проблем с часто неизвестными априорными алгоритмами.

Первой интеллектуальной системой можно считать программу "Логик-Теоретик", созданную в 1956 г. А. Ньюэллом, Г. Саймоном и Дж. Шоу из RAND Corporation (США) и предназначенную для автоматического поиска доказательств теорем в исчислении высказываний [1].

Несмотря на то, что искусственный интеллект относят к экспериментальной науке, за недолгую историю развития в его недрах возник ряд фундаментальных теоретических методов, которые сегодня принято называть методами искусственного интеллекта. Они направлены прежде всего на работу со специальными сложными структурами данных, имеющими общий характер, содержащими информацию о предметной области и оснащёнными процедурами поддержания корректности этих данных и выводов на их основе. Такие структуры принято называть знаниями о рассматриваемой предметной области.

Используя некоторые методы искусственного интеллекта, можно не только решать какие-либо задачи, но и определять алгоритм поиска такого решения. При этом классические математические методы поиска решения либо не разрабатывались ранее для таких задач, либо не способны были их решать с учётом всех ограничений, в том числе по времени и эффективности, налагаемых условиями задачи.

СОКОЛОВ Игорь Анатольевич — академик РАН, директор ФИЦ ИУ РАН.

МЕТОДЫ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

По современным представлениям, к методам искусственного интеллекта можно отнести методы представления знаний, приобретения знаний компьютерными системами, автоматизации рациональных рассуждений и порождения познавательных гипотез, автоматизации планирования и целенаправленного поведения, интеллектуального анализа текстов и др. При этом задача воспроизведения человеческого интеллекта в серьёзных исследованиях не ставилась (во всяком случае, пока). Остановимся кратко на перечисленных методах.

Говоря о *методах представления знаний* — формальных языках и формальных системах (а также соответствующих программных средствах), можно выделить системы правил, семантические сети и системы фреймов. Наиболее известный язык такого рода — язык правил. Правила восходят к системам подстановок Поста и нормальным алгорифмам Маркова [2].

В общем случае правило r можно записать в виде:

$$r = \langle C, A, D \rangle,$$

где C — условие правила; A — множество добавляемых фактов; D — множество удаляемых правил фактов. Элементами этих трёх множеств могут быть как логические, так и лингвистические конструкции, переменные и константы. Правило, если его условие выполнено, применяется к состоянию системы, которое описывается в так называемой рабочей памяти.

Процесс применения правил к очередному состоянию системы и, следовательно, процесс добавления/удаления фактов (так в искусственном интеллекте принято называть формулы без свободных переменных) продолжается, пока система не окажется в состоянии, где отсутствуют применимые правила. Можно задать цель, например, в виде некоторого логического выражения. Тогда работа завершится, даже если цель будет достигнута. По существу, это модель саморазвития системы.

С помощью систем правил можно решить ряд задач, например, построить план сборки сложного технического устройства, здания или автономной транспортировки некоторого груза из одного помещения в другое.

Заметим, что применение систем правил не нуждается в алгоритме решения задачи. Достаточно лишь обладать стратегией применения правил. Их всего две — для коммутативных и некоммутативных систем. Суть любой стратегии состоит в выборе правила, условия которого выполня-

ются в текущем состоянии из множества правил и последующем его применении, то есть в выполнении действия, предписываемого правилом, и изменении текущего состояния системы. Учёт особенности каждой задачи реализуется в компонентах правил.

Здесь возникает несколько вопросов, и главный из них — какое правило следует применить, если в определённом состоянии оказалось использовано более одного правила? Точного ответа на этот вопрос нет. Однако можно предложить некоторые эвристики — правила выбора без достаточных теоретических оснований, диктуемые характером задачи.

К иным способам представления знаний относятся семантические сети [3] и системы фреймов [4]. Например, если говорить о так называемых неоднородных семантических сетях [5], то, в отличие от графов, их дуги имеют различный смысл (семантику) и, как следствие, различные вычислительные процедуры их интерпретации. Например, утверждению "пневмония *всегда* сопровождается повышенной скоростью оседания эритроцитов" соответствует один тип дуги, но утверждение "повышенная скорость оседания эритроцитов *может* свидетельствовать о наличии пневмонии" представляется другим типом дуги. Следовательно, решая задачу диагностики, система будет стремиться обнаружить и иные признаки, являющиеся положительными аргументами для гипотезы "пневмония", а также отсутствие признаков, являющихся отрицательными аргументами.

Исследование семантических сетей и их строгая формализация привели к появлению нового раздела математической логики — дескриптивных логик, ставших, по существу, теорией баз знаний и онтологий.

Методы приобретения знаний, к которым относятся прямые методы, методы извлечения знаний из текстов и методы извлечения знаний из данных (машинного обучения), создают основы компетентности интеллектуальных систем [6].

Прямые методы основаны на интервьюировании эксперта. Методы извлечения знаний из текстов используют компьютерный анализ текстовой информации и направлены на поиск и извлечение имён понятий, их свойств и связей между ними [7]. Методы машинного обучения базируются на автоматическом анализе данных, выявлении их существенных признаков и закономерностей, в неявном виде присутствующих в данных.

В своё время прямые методы натолкнулись на трудности принципиального характера, порождённые так называемой когнитивной защитой эксперта. Например, вербальные сообщения эксперта часто не соответствуют его ментальному

поведению; в сообщениях эксперта обычно присутствуют пробелы. Эти проблемы удалось преодолеть, создав автоматизированные методы прямого приобретения знаний. В результате приобретение знаний интеллектуальной системой стало задачей самой системы. Оказалось, что когнитивная защита эксперта, проявляющая себя при его взаимодействии с так называемым инженером по знаниям, "выключается" при взаимодействии эксперта с автоматизированной системой приобретения знаний, в которой реализован ряд психологических приёмов, именуемых методами преодоления когнитивной защиты [8].

Весьма важные и перспективные подходы развиваются в рамках *интеллектуального анализа данных*, задачи которого связаны с поиском закономерностей в открытых, постоянно пополняемых данных.

Можно выделить логические, статистические и вычислительные методы анализа данных. К логическим относятся обучение на основе логик первого и второго порядка, методы эмпирической и конструктивной индукции [9]. Среди методов эмпирической индукции следует назвать: TDIDT-алгоритм, который представляет собой классический вариант индукции сверху вниз и используется для построения так называемых деревьев принятия решений; AQ-алгоритм, основанный на идее последовательного покрытия обучающих данных множеством правил; FOIL-алгоритм для построения хорновских формул; метод обратной резолюции — синтез общих логических выражений из их следствий. К методам конструктивной индукции можно отнести CIA-алгоритм, который, в отличие от других известных алгоритмов кластеризации, строит иерархии понятий, а не их множеств. Заметим, что указанные алгоритмы ориентированы на анализ не только численных, но и символьных данных.

К методам построения иерархии понятий можно отнести вероятностные методы UNIMEM и COBWEB. Следует также упомянуть о вычислительных методах, а именно о методе анализа данных в динамических системах. Алгоритм BACON восстанавливает вид зависимости в динамических системах на основе данных серии экспериментов, а алгоритм LAGRANGE — вид дифференциального уравнения.

Степень достоверности закономерностей, полученных на основе анализа данных в открытых системах, вообще говоря, может не только расти, но и уменьшаться с увеличением объёма обрабатываемых данных. Поэтому результаты работы всех указанных алгоритмов принято называть правдоподобными, в отличие от достоверных результатов, получаемых, например, дедуктивным путём.

Аксиоматизация этой деятельности привела к возникновению так называемых немонотонных логик. Если из утверждения, что формула Φ выводима из Γ , где Γ — некоторое множество формул, следует, что Φ выводима из Γ и Ψ , где Ψ — произвольная формула, то вывод называется *монотонным*. В противном случае он будет называться *немонотонным*.

Методы автоматизации рассуждений — важное направление теории и приложений искусственного интеллекта, где помимо дедуктивных рассуждений, хорошо изученных в классической математической логике, выделяют и моделируют индуктивные, абдуктивные, аргументационные рассуждения, а также рассуждения по аналогии и на основе прецедентов [10, 11]. В качестве специальных типов выделяют рассуждения о пространстве—времени, пространственных и временных оценках, нечёткие рассуждения и др.

Рассмотрим, например, правило индуктивного вывода:

$$A(a_1), \dots, A(a_n) \Rightarrow \forall x A(x).$$

Если элементы a_1, \dots, a_n не исчерпывают универсума U , то новый индивид $a_{n+1} \in U$ может не обладать свойством A , и заключение $\forall x A(x)$ оказывается несправедливым. Это означает, что $\forall x A(x)$ не выводится из $A(a_1), \dots, A(a_n)$ и $B(a_{n+1})$, то есть в соответствии со сказанным выше индуктивный вывод не является монотонным.

Методы интеллектуального планирования поведения при классических допущениях находят всё большее применение в различных областях — от дистанционного обучения до космических исследований. Наиболее развиты так называемые методы AI-планирования, или задачи планирования при классических допущениях, когда состояние среды предсказуемо, иначе говоря, когда изменение состояния среды является следствием действий самого субъекта поведения.

В том случае, если классические допущения не выполняются, следует говорить о динамическом планировании или планировании в динамических интеллектуальных системах, когда возможно динамическое перепланирование или парирование возмущений на основе двух типов обратных связей, возникающих в таких задачах [12]. Однако даже в случае классических допущений задача планирования относится к классу PSPACE — полных задач, а в случае, если в языке описания планов и действий допускаются функциональные символы, задача планирования даже при классических допущениях становится неразрешимой.

Следует упомянуть о *методах интеллектуального анализа неструктурированной информации*, в частности, текстовой. Часто под этим понима-

ются такие методы анализа, которые полностью игнорируют лингвистическую сущность текста и подменяют её различными информационными вероятностными измерениями, в лучшем случае — методами анализа символьных последовательностей. Между тем текст создаётся по собственным законам, и игнорирование его лингвистической природы приводит к подмене понятий. Задача же состоит в том, чтобы, используя наукоёмкие методы лингвистического анализа, решить проблемы автоматического анализа текста на уровне его понимания [13–17]. Тем не менее далеко не любая лингвистическая теория допускает компьютерную реализацию и позволяет решать задачи автоматического анализа текста.

ПРИМЕРЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Рассмотрим несколько примеров, демонстрирующих возможности методов искусственного интеллекта.

Задача управления сложными движениями активного корабля на орбите в процессе стыковки с орбитальной станцией. Речь идёт о многошаговом процессе, сложность которого обусловлена возможным вращением станции в трёх измерениях и необходимостью согласования скоростей движения и направлений вращений активного корабля с соответствующими параметрами станции. Эта задача решается интеллектуальной системой, в основе которой лежат три типа специальных правил: замыкания состояния, переходов и управления [18].

Задача анализа данных с получением прогнозных рекомендаций. В 2016 г. на Магнитогорском металлургическом комбинате ввели в эксплуатацию рекомендательный сервис для оптимизации расхода ферросплава при производстве стали. Применение технологий в области машинного обучения, в том числе специальных графов вычислений (искусственных нейронных сетей), которые функционируют на основе приближённых оптимизационных методов, позволило снизить издержки компании в среднем на 5% в год.

Задача планирования поведения и поиска пути в пространстве. Одна из ключевых проблем, возникающих при разработке систем управления беспилотными транспортными средствами, — поиск траектории движения аппарата в условиях ограниченного времени и большого количества препятствий. Эффективно решить эту задачу традиционными методами управления не удавалось. Для осуществления системы поиска был предложен новый алгоритм с использованием специальных структур представления пространственной

информации: МТ-графы, в рамках которых производился эвристический поиск [19].

Задача анализа естественного языка и извлечение знаний из текстов. В качестве примера успешного решения этой задачи можно привести семейство поисково-аналитических машин на платформе Exactus. Применение методов искусственного интеллекта, допускающих эффективную компьютерную реализацию, позволило преобразовать тексты в структуры особого вида с присоединёнными процедурами интерпретации — неоднородными семантическими сетями, с которыми далее могут работать системы, производящие построение поискового индекса, анализ на заимствования и т. д. С помощью этой модели можно, в частности, извлекать из текста знания, которые в дальнейшем могут использоваться, например, в экспертных системах [20].

Задача управления сложным техническим объектом в условиях непредсказуемой внешней среды и отсутствия связи с центром управления. 24 октября 1998 г. НАСА запустило автоматическую межпланетную станцию "Deep Space 1" для исследования дальнего космоса. В миссию входило сближение с астероидом Брайль и кометой Борелли. После удаления станции на 90 млн миль от Земли в силу невозможности управления ею по радио эти функции взяли на себя интеллектуальные агенты: автономная система навигации (Autonav), система реконфигурации оборудования (Remote Agent), диагностическая система, основанная на знаниях (Livingstone), надёжный планировщик (EUROPA) и система исполнения плана (EXEC).

РОССИЙСКИЙ ОПЫТ

В России традиционно основной упор делался на фундаментальные исследования. Фундаментальные исследования в области искусственного интеллекта (как в естественно-научных дисциплинах, так и в гуманитарной сфере) в течение последних лет осуществляются в рамках Программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук, грантов РФФИ и РНФ главным образом в институтах РАН, а также в ведущих университетах страны. Благодаря исследованиям, проведённым в этих организациях, в РФ создан серьёзный фундаментальный задел в области искусственного интеллекта, развития его методов и технологий. Сложились и активно работают научные школы, среди которых отметим следующие:

- Ю.Д. Апресяна — модель "Смысл → Текст";
- С.Н. Васильева — логические методы в теории управления;
- С.Ю. Желтова — обработка информации в сложных системах управления;

- Ю.И. Журавлёва — теория распознавания образов;
- В.А. Лекторского — гуманитарные аспекты искусственного интеллекта;
- В.Л. Макарова — моделирование экономических процессов;
- Д.А. Поспелова — ситуационное управление, экспертные системы, нечёткие системы, моделирование рассуждений;
- К.В. Рудакова — анализ данных;
- К.В. Анохина — исследование мозга;
- Б.М. Величковского — исследование сознания и внимания в психологии;
- Н.В. Ванника — теория машинного обучения;
- Г.А. Золотовой — модель коммутативной грамматики в лингвистике;
- Г.С. Осипова — интеллектуальные динамические системы, анализ естественного языка;
- В.К. Финна — правдоподобный вывод, ДСМ-метод.

Среди значимых российских достижений можно отметить создание методов:

- машинного обучения при решении задач обработки изображений и распознавания образов;
- автономной координации и управления в коалициях интеллектуальных агентов;
- коллективного взаимодействия роботов при решении групповых задач;
- когнитивных компьютерных моделей с пониманием естественного языка, систем поддержки научных исследований;
- искусственного интеллекта для обеспечения информационной безопасности;
- автоматизации рассуждений;
- планирования и управления поведением в сложных непрогнозируемых средах.

Полученные фундаментальные научные результаты были использованы при проведении прикладных исследований и разработок в различных отраслях экономики, в том числе в авиационно-космической промышленности и управлении воздушным пространством, на железнодорожном транспорте, в судостроительной отрасли, сельском хозяйстве, безлюдных роботизированных производствах, здравоохранении, социогуманитарной сфере, науках о жизни, разведке и добыче полезных ископаемых, городской инфраструктуре и др.

В заключение хотелось бы отметить перспективные, на наш взгляд, направления исследований, которые окажут существенное влияние на теорию и практику использования методов искусственного интеллекта: машины знаний и работа с ними; мультимодальная аналитика и рассуждения; гибридный человеко-машинный интеллект; интеллектуальные динамические системы; когнитивный анализ данных; мульти-

агентное управление и диспетчирование ресурсов в распределённых системах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Newell A., Shaw J. C. Programming the logic theory machine // Proceedings of the Western Joint Computer Conference. Feb. 1957. Los Angeles.
2. Нилсон Н. Принципы искусственного интеллекта. М.: Мир, 1977.
3. Quillian M. R. Semantic Memory // Semantic Information Processing. Cambridge, MA: MIT Press, 1968.
4. Минский М. Фреймы для представления знаний. М.: Мир, 1979.
5. Осипов Г. С. Построение моделей предметных областей. Ч. 1. Неоднородные семантические сети // Известия АН СССР. Техническая кибернетика. 1990. № 5. С. 32–45.
6. Boose J. H. Knowledge Acquisition Program for Expert Systems Based on Personal Construct Psychology // Int. Journal on Man-Machine Studies. 1985. V. 23. P. 495–525.
7. Большакова Е. И., Баева Н. В., Васильева Н. Э. Структурирование и извлечение знаний, представленных в научных текстах // Девятая национальная конференция по искусственному интеллекту КИИ-2004. Т. 2. М.: Физматлит, 2004.
8. Osipov G. S. The Method of Direct Knowledge Acquisition from human experts // Proceedings of the 5th Banff Knowledge Acquisition for Knowledge-Based Systems Workshop. Nov. 1990. Banff, Canada.
9. Michalski R. S., Bratko I., Kubat M. Machine Learning and Data Mining: Methods and Applications. Chichester, UK: John Wiley & Sons, 1997.
10. Вагин В. Н., Головина Е. Ю., Загорянская А. А., Фомина М. В. Достоверный и правдоподобный вывод в интеллектуальных системах. М.: Физматлит, 2004.
11. Финн В. К. Искусственный интеллект. Методология, применения, философия. М.: Красанд, 2008.
12. Осипов Г. С. Методы искусственного интеллекта. М.: Физматлит, 2015.
13. Смирнов И. В., Шелманов А. О., Кузнецова Е. С., Храмоин И. В. Семантико-синтаксический анализ естественных языков. Ч. 2. Метод семантико-синтаксического анализа текстов // Искусственный интеллект и принятие решений. 2014. № 1. С. 11–24.
14. Lyons J. Semantics. London: Cambridge University Press, 1977.
15. Апресян Ю. Д. Избранные труды. Т. 1. Лексическая семантика. Изд. 2-е, испр. и доп. М.: Школа "Языки русской культуры", 1995.
16. Сокирко А. В. Реализация первичного семантического анализа в системе Диалинг // Труды Международного семинара Диалог-2000 по компьютерной лингвистике и её приложениям. 1–5 июня 2000 г. Протвино, Россия.

17. Золотова Г.А., Онипенко Н.К., Сидорова М.Ю. Коммуникативная грамматика русского языка. М.: Институт русского языка им. В.В. Виноградова РАН, 2004.
18. Виноградов А.Н., Осипов Г.С., Жилкова Л.Ю. Динамические интеллектуальные системы. Ч. 2. Моделирование целенаправленного поведения // Известия РАН. Теория и системы управления. 2003. № 1. С. 87–94.
19. Yakovlev K., Baskin E., Hramoin I. Grid-based angle-constrained path planning // Proceedings of the 38th Annual German Conference on Artificial Intelligence. 21–25 Sept. 2015. Dresden, Germany.
20. Осипов Г.С., Смирнов И.В., Тихомиров И.А. Реляционно-ситуационный метод поиска и анализа текстов и его приложения // Искусственный интеллект и принятие решений. 2008. № 2. С. 3–10.

THEORY AND PRACTICE IN ARTIFICIAL INTELLIGENCE

© 2019 I.A. Sokolov

Federal Research Center “Computer Sciences and Control”, RAS, Moscow, Russia

E-mail: isokolov@ipiran.ru

Received: 03.12.2018

Revised version received: 03.12.2018

Accepted: 17.01.2019

Artificial Intelligence is an interdisciplinary field, and formed about 60 years ago as an interaction between mathematical methods, computer science, psychology, and linguistics. Artificial Intelligence is an experimental science and today features a number of internally designed theoretical methods: knowledge representation, modeling of reasoning and behavior, textual analysis, and data mining. Within the framework of Artificial Intelligence, novel scientific domains have arisen: non-monotonic logic, description logic, heuristic programming, expert systems, and knowledge-based software engineering. Increasing interest in Artificial Intelligence in recent years is related to the development of promising new technologies based on specific methods like knowledge discovery (or machine learning), natural language processing, autonomous unmanned intelligent systems, and hybrid human-machine intelligence.

Keywords: artificial intelligence methods, artificial intelligence technology, application of artificial intelligence, the perspectives for the development of artificial intelligence.

ВЫСТУПЛЕНИЕ АКАДЕМИКА РАН С.Ю. ЖЕЛТОВА

Материал поступил в редакцию 03.12.2018 г.

Принят к публикации 25.12.2018 г.

Ключевые слова: интеллектуализация, ситуационная осведомлённость, отказоустойчивость, реконфигурация, сенсорные сети, машинное видение, машинное обучение, самодиагностика, человеко-машинный интерфейс, управление техническим состоянием, автономность.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-5873894371-372>

Возможности человека по удовлетворению требований, предъявляемых к перспективным воздушным судам (ВС) как пилотируемой, так и беспилотной авиации, на сегодняшний день практически исчерпаны. Происходит интеллектуализация комплекса бортового оборудования (КБО) за счёт поэтапного внедрения программно-аппаратных компонентов решения задач обеспечения полёта ВС, традиционно относившихся к деятельности человека-оператора.

Интеллектуализация ВС пилотируемой и беспилотной авиации стала возможной благодаря существенному прогрессу в области информационных технологий. Ключевым моментом стал переход от федеративной архитектуры КБО, в которой каждая отдельная функция ВС была реализована на своём отдельном блоке, к архитектуре, построенной на принципах интегрированной модульной авионики (ИМА) и далее — распределённой модульной электроники (РМЭ). В концепциях ИМА (РМЭ) аппаратные функции оборудования трансформируются в программное обеспечение (ПО), а структура КБО определяется структурой бортовой вычислительной сети. Важная особенность такой архитектуры — отсутствие фиксированных связей между датчиками бортового оборудования (информационными каналами), вычислительными средствами и исполнительными устройствами. Это позволяет решать задачу управления вычислительным процессом на борту ВС за счёт реализации динамической реконфигурации структуры КБО с соответствующим перераспределением вычислительных ресурсов. Переход к ИМА (РМЭ) и внедрение программного обеспечения на всех уровнях управления воздушными судами позволили перейти к фазе активной интеллектуализации авионики ВС пилотируемой и беспилотной авиации.

Для снижения нагрузки на экипаж перспективных ВС в настоящее время прежде всего совершенствуются системы поддержки экипажа, включая способы индикации и управления информационным полем. Современные системы сигнализации, индикации и управления стали

частью интегрированной распределённой информационной системы ВС, что сделало возможным осуществлять оперативную реконфигурацию многоэкранной системы индикации и перераспределять функции индикации в целях обеспечения непрерывного отображения необходимой экипажу информации. При управлении информационным полем всё большее значение приобретают подходы, позволяющие адаптироваться к психофизиологическому состоянию пилота и особенностям выполняемой задачи. Осуществляется переход от традиционных механических органов управления к альтернативным технологиям ввода информации: сенсорным, голосовым, с использованием анализа глазодвигательной активности и распознавания жестов пилотов, односторонних и двусторонних нейроинтерфейсов, а в перспективе — путём считывания мыслей. Расширяется область применения дистанционных способов управления и альтернативных способов индикации, в том числе с использованием технологий дополненной, виртуальной и смешанной реальности.

Для повышения уровня ситуационной осведомлённости используются системы машинного (улучшенного, синтезированного и комбинированного) видения, обеспечивающие увеличение дальности видимости ориентиров на местности за счёт формирования средствами технического зрения и компьютерной визуализации объединённого графического образа реальных и виртуальных изображений закабинного пространства. Интеллектуальные информационные системы поддержки экипажа, функционирующие в реальном масштабе времени, решают задачи одновременного и совместного контроля большого числа факторов внешней обстановки и параметров состояния ВС, а также экспертного выявления их сочетаний, несущих риск возникновения особой ситуации. В то же время во многих областях применения авиационной техники речь сегодня идёт уже не об улучшении отдельных характеристик единичных ВС, а о наиболее эффективных способах построения и использования целост-

ных систем управления, связи, обработки и сбора информации. Эти системы могут включать множество ВС, подсистем, служб и сетей, в том числе связанных с изображениями и географическими данными. В них могут входить космические и авиационные платформы получения данных, службы географической поддержки, наземные системы сбора информации, системы планирования операций, моделирования, навигации, управления движением, целеуказания и ряд других.

Значительное расширение функциональности КБО перспективных ВС осуществляется благодаря внедрению бортовых беспроводных сенсорно-актуаторных сетей, которые представляют собой распределённые системы наблюдения и управления ресурсами и процессами, построенные с использованием низкоэнергосъёмных технологий. Построение таких распределённых самоорганизующихся отказоустойчивых систем сбора, обработки и передачи большого объёма информации, образующих "нервную систему" ВС, может осуществляться с помощью различных технологий беспроводной передачи данных и электроэнергии.

В области интеллектуализации управления полётом ВС ключевым направлением является реализация траекторий полёта с учётом времени прибытия в конечную точку (4D-траектории), которые станут важным элементом системы управления воздушным движением следующего поколения. Такой подход потребует оптимизации лётно-технических характеристик полёта по индексу стоимости с учётом всех ограничений и с учётом расширенной модели атмосферы. Одновременно на борту должны решаться задачи комплексной обработки информации, идентификации характеристик ВС, оценки возмущающих факторов, прогнозирования и управления. Данный подход позволит добиться существенного снижения стоимости полётов ВС.

Качественное решение проблемы повышения оперативности и глубины и расширения базы данных о функционировании ВС обеспечивается благодаря внедрению интеллектуальных интегрированных систем управления техническим состоянием ВС, его систем и оборудования. Главной особенностью таких систем является не только мониторинг, но и прогнозирование технического состояния, что выступает основой для перехода к эксплуатации авиационной техники по состоянию. Применение технологий мониторинга в реальном масштабе времени позволяет непосредственно в процессе полёта проводить полный (оперативный, поисковый, прогностический и интеллектуальный) анализ работоспособности оборудования и систем ВС, состояния экипажа и осуществлять контроль его действий.

Анализ последних научных результатов в области интеллектуализации позволяет сделать обоснованный прогноз, что практические элементы функционального искусственного интеллекта в авиации могут быть созданы уже к 2020–2025 гг. Это существенно повлияет на целый ряд технологий, определяющих перспективы создания нового поколения воздушных судов пилотируемой и беспилотной авиации гражданского и военного назначения. Технологии интеллектуализации бортового оборудования – поле острого соперничества наиболее экономически развитых стран. Поэтому добиться конкурентных преимуществ можно только при условии внедрения наиболее передовых, наукоёмких разработок и технологий. Прорыв в вопросах интеллектуализации может быть достигнут лишь при активном взаимодействии Российской академии наук и ведущих центров прикладной науки. Это позволит консолидировать усилия по созданию нового фундаментального научного задела, а также обеспечить межотраслевую и междисциплинарную интеграцию прорывных технологий.

SPEECH OF THE RAS ACADEMICIAN S.YU. ZHELTOV

Received: 03.12.2018

Accepted: 25.12.2018

Keywords: intellectualization, situational awareness, fault tolerance, reconfiguration, sensor networks, machine vision, computer-assisted learning, self-diagnostics, human-machine interface, technical state management, self-containment.

ВЫСТУПЛЕНИЕ АКАДЕМИКА РАН Н.А. КОЛЧАНОВА

Материал поступил в редакцию 03.12.2018 г.

Принят к публикации 25.12.2018 г.

Ключевые слова: Большие данные, науки о жизни, искусственный интеллект, машинное обучение, нейронные сети, геномные сети, когнитивные компьютерные системы.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-5873894373-375>

Стремительное развитие информационно-вычислительных технологий и их повсеместное внедрение практически во все сферы жизни стали ключевым фактором колоссального роста данных, который привёл к информационному взрыву, затронувшему буквально все области, включая науки о жизни. Так, согласно аналитическим исследованиям, уже к 2025 г. объём одних только геномных данных за счёт развития высокопроизводительных технологий секвенирования может в несколько раз превысить совокупный объём информации, продуцируемой астрономией и социальными сетями YouTube и Twitter. Повсеместное внедрение в клиническую практику электронных медицинских карт, развитие методов медицинской визуализации (рентгенография, МРТ, ультразвук и др.), а также прогресс в сфере диагностики состояния здоровья пациентов на основе приборов, оснащённых сенсорами, оказали существенное влияние на возникновение Больших данных в медицине. Развитие сенсорных и смарт-технологий, а также беспилотных аппаратов, снабжённых средствами фото/видеофиксации, способствовало появлению Больших данных в такой области, как сельское хозяйство. Кроме того, существуют десятки тысяч фактографических баз данных и десятки миллионов текстов патентов, содержащих ценнейшую информацию о живых системах. Только в базе данных PubMed (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/>) сегодня проиндексировано более 29 млн рефератов научных публикаций, посвящённых биологии и биомедицине, и это число продолжает неуклонно расти.

Стремительный рост, колоссальные объёмы, а также слабая структурированность и неоднородность подавляющей части подобной информации, нередко сочетающиеся с её зашумлённостью, делают применение лишь традиционных способов анализа данных недостаточно эффективным. Данная проблема стала поворотным моментом в развитии подходов машинного обучения и искусственного интеллекта, позволяющих автоматически выявлять скрытые взаимосвязи и закономерности в больших наборах данных, которые далеко не всегда очевидны для человека. Положительная динамика публикаций, связанных с применением методов искусственного интеллекта и машинного обучения в таких областях, как генетика, медицина, биотех-

нологии и сельское хозяйство, хорошо иллюстрирует увеличение интереса к этим технологиям со стороны научного сообщества.

Для генетики одним из бурно развивающихся направлений является создание систем, обеспечивающих реконструкцию геномных сетей на основе информации, автоматически экстрагированной из фактографических баз данных и текстов научных публикаций. При этом под геномными сетями понимаются группы координированных функционирующих генов, контролирующих формирование фенотипических характеристик организмов (молекулярных, биохимических, клеточных, физиологических, морфологических и др.). Неотъемлемые компоненты геномных сетей — сети белок-белковых взаимодействий, метаболические пути, а также пути передачи сигналов. Реконструкция и анализ таких сетей имеют важнейшее значение для широкого ряда областей знаний и практических применений, включая биомедицину, фармакологию, биотехнологию, генетику, селекцию, сельское хозяйство и многие другие.

Один из хорошо известных примеров — когнитивная система Watson, разработанная компанией IBM и адаптированная для анализа информации из области наук о жизни. Основными задачами, на решение которых направлен этот инструмент, выступают экстракция и накопление знаний о биологических процессах и системах на основе применения методов автоматического анализа текстов и баз данных, реконструкция геномных сетей, интерпретация биомедицинских данных, а также поиск фармакологических мишеней. База знаний системы содержит информацию о более чем 200 тыс. фенотипических признаков организмов, 21 тыс. химических соединений, 1300 лекарствах, 22 тыс. генов и сотнях тысяч белков. Модуль извлечения знаний из текстов научных публикаций и баз данных системы Watson реализован на основе применения ряда программ-аннотаторов, использующих нейронные сети. Такие сети обучены для выявления связей между объектами, относящимися к соответствующим предметным областям знаний.

Система Ingenuity Pathway Analysis (IPA), разработанная компанией QIAGEN, обеспечивает интеграцию, анализ и интерпретацию геномных, транскриптомных, протеомных, метаболомных

данных, поиск генов-мишеней и биомаркеров заболеваний. Её база знаний содержит около 5 млн фактов о генах, белках, метаболитах, лекарствах, а также взаимодействиях между ними, включая их связи с болезнями и биологическими функциями. Общая сеть взаимодействий IPA состоит из примерно 40 тыс. вершин и 1480 тыс. связей. Интеллектуальная компонента системы обеспечивает, во-первых, формирование базы знаний с использованием методов автоматического анализа научных публикаций и баз данных; во-вторых, автоматическую генерацию гипотез о генных сетях, путях передачи сигналов и метаболических путях, ответственных за изменения экспрессии генов, которые наблюдаются в экспериментах; в-третьих, выявление регуляторов верхнего уровня (миРНК, транскрипционные факторы, метаболиты, лекарства), вызывающих наблюдаемые изменения экспрессии генов.

Другими примерами хорошо известных систем являются STRING, Pathway Studio и MetaCore (<https://clarivate.com/products/metacore/>). Система STRING предназначена для реконструкции и анализа сетей белок–белковых взаимодействий, включая прямые (физические) и косвенные (функциональные) ассоциации. База знаний STRING содержит информацию о более чем 1380 млн взаимодействиях для 9,6 млн белков из 2031 организма, полученную на основе экспериментальных данных, методов автоматического извлечения знаний из текстов научных публикаций, а также из курируемых баз.

Pathway Studio позволяет осуществлять построение и анализ биологических путей, сетей генной регуляции и сетей белок–белковых взаимодействий. Система включает данные о более чем 7 млн молекулярных взаимодействий, автоматически извлечённых из абстрактов и полных текстов научных публикаций из курируемых баз данных, а также данные о более 2000 курируемых вручную путей.

Система MetaCore обеспечивает интеграцию омиксных данных, комплексный анализ молекулярно–генетических сетей, быструю реконструкцию молекулярно–генетических и клеточных механизмов патогенеза, поиск биомаркеров и идентификацию лекарственных мишеней. В базе знаний этой системы содержится информация о более чем 1,7 млн межмолекулярных взаимодействий, 1600 биологических путях, а также 230 тыс. ассоциаций с заболеваниями.

Все вышеописанные системы разработаны за рубежом. Единственная российская когнитивная система ANDSystem, предназначенная для работы с генными сетями, — в Институте цитологии и генетики СО РАН. Система обеспечивает реконструкцию и анализ сетей молекулярно–генетических взаимодействий, интерпретацию экспериментальных данных, поиск новых фармакологических мишеней, а также генов — кандидатов для генотипирования. Она позволяет вы-

являть гены, которые вносят максимальный вклад в формирование целевых фенотипических (клинических) признаков, контролируемых генными сетями, и на этой основе предсказывать наиболее перспективные мишени для терапии заболеваний. База знаний ANDSystem содержит информацию приблизительно о 2 млн генов и белков, 46 тыс. заболеваний, 80 тыс. метаболитов, 90 тыс. биологических процессов, 4,5 тыс. микроРНК и 30 млн взаимодействий, автоматически экстрагированных из 24 млн документов PubMed и внешних баз данных. Кроме того, ANDSystem ориентирована на решение такой важной для фармакологии задачи, как выявление генов-мишеней, имеющих определяющее значение для функционирования генных сетей и контролируемых ими фенотипических признаков. Система обладает большой прогностической силой, подтверждённой в ряде экспериментальных работ. В частности, на основе анализа структуры генной сети, описывающей механизмы коморбидного состояния¹ астма/гипертензия и реконструированной с помощью ANDSystem, были предсказаны гены, играющие ключевую роль в развитии патологии.

Экспериментальный анализ генетических полиморфизмов, выполненный для трёх предсказанных генов, определённых ANDSystem в качестве наилучших кандидатов для генотипирования, показал, что нуклеотидные замены в регуляторных районах этих генов с повышенной частотой встречаются в группе пациентов с коморбидным состоянием астмы и гипертензии. Применение ANDSystem для построения и анализа генных сетей, описывающих молекулярные механизмы патологических процессов при туберкулёзе, позволило выявить новые гены, отвечающие за восприимчивость человека к туберкулёзу.

В целом на сегодняшний день при разработке систем искусственного интеллекта, предназначенных для решения различных задач из области наук о жизни, применяется огромное количество методов и алгоритмов, таких как методы опорных векторов, решающих деревьев, логическая регрессия, байесовские модели и др. Очень перспективным оказалось применение методов глубокого машинного обучения и глубоких нейронных сетей, продемонстрировавших свою эффективность в решении широкого спектра задач из области живых систем. Особенность данного класса методов — обучение представлений об объектах на основе анализа большого объёма данных, играющих роль примеров. Уникальным для глубокого обучения является автоматическое определение признаков и их иерар-

¹ Под коморбидным состоянием понимается наличие у пациентов одновременно двух заболеваний с частотой их совместной встречаемости выше, чем можно ожидать по случайным причинам. В настоящее время такие состояния активно изучаются.

хическая структуризация, при которой представление о более сложных признаках формируется за счёт комбинирования более простых. Например, в системе DeepChrome глубокое машинное обучение использовалось для предсказания экспрессии генов по паттернам модификации белков. Авторы системы deepTarget успешно применили рекуррентную нейронную сеть для предсказания мишеней микроРНК в матричной РНК. Ещё один вариант — использование трёхмерной свёрточной нейронной сети для оценки энергии взаимодействия "белок—лиганд".

Методы глубокого машинного обучения широко применяются и в сельском хозяйстве. Так, нейронные сети обеспечивают высокоточное автоматическое обнаружение вредителей и заболеваний томатов в режиме реального времени. При этом для обучения нейронной сети используется сравнительно небольшая выборка из 5 тыс. изображений листьев томатов, повреждённых фитофторой и вредителями, которые были сделаны при разных условиях (температура, время года, уровень влажности и т.д.).

Практическая простота применения и наличие развитого инструментария делают нейронные сети мощнейшим инструментом современного анализа данных. В то же время ключевой недостаток инструментов, разрабатываемых на основе глубокого машинного обучения, — исключительно низкий уровень прозрачности принимаемых решений, то есть их интерпретируемости в рамках устоявшейся терминологии соответствующих предметных областей. Преодоление этого недостатка — важнейший из вызовов, стоящих перед теорией и практикой искусственного интеллекта.

Один из перспективных подходов к повышению прозрачности решений предполагает интеграцию нейронных сетей с онтологиями предметных областей. В 2018 г. была опубликована работа, выполненная учёными из Стэнфордской школы медицины, в которой на основе массива больших геномных, транскриптомных и протеомных данных, характеризующих 5 млн линий дрожжей с нокаутами генов, и информации из Онтологии генов (Gene Ontology — GO) была построена нейронная сеть для предсказания влияния нокаутов дрожже-

вых генов на скорость роста дрожжевой культуры. GO — одна из самых больших онтологий, содержащих универсальное формализованное описание молекулярно-генетических функций, структур и процессов. В основе GO лежат три независимых раздела: биологические структуры (4202 сущности, 2 044 124 аннотации), молекулярные функции (11 150 сущностей, 2 001 539 аннотаций) и биологические процессы (29 691 сущность, 3 188 847 аннотаций). Онтология построена по принципу ориентированного ациклического графа: каждый термин связан с одним или несколькими другими терминами через различный тип отношений: "A is a B" — A является частным случаем B, "A part of B" — A является частью B, "B has part A" — B включает A, "A regulates B" — A регулирует B, "A positively regulates B" — A положительно регулирует B, "A negatively regulates B" — A отрицательно регулирует B, "A occurs in B" — A встречается при B. Моделирование влияния двойного нокаута в геноме дрожжей по генам *CYT1* и *COX7* на скорость роста дрожжевой культуры, реализованное за счёт применения данной нейронной сети, показало, что двойной нокаут приводит к нарушению функционирования эндоплазматического ретикула, которое сопровождается появлением денатурированных белков, и, как следствие, к снижению скорости роста мутантной дрожжевой культуры. Такой подход позволяет не только оценивать влияние мутаций на скорость роста дрожжей, но и выявлять ключевые процессы, лежащие в основе повреждающих эффектов.

В заключение следует отметить, что быстрое накопление огромных объёмов сложно организованных гетерогенных и распределённых данных в области живых систем требует существенной интенсификации работ междисциплинарного характера по использованию методов искусственного интеллекта и машинного обучения. Необходимо создать междисциплинарную комплексную программу научных исследований, которая объединит как специалистов в области математики и информатики, так и учёных, непосредственно применяющих эти инструменты для решения связанных с исследованием живых систем научно-прикладных задач.

SPEECH OF THE RAS ACADEMICIAN N.A. KOLCHANOV

Received: 03.12.2018

Accepted: 25.12.2018

Keywords: Big Data, life sciences, artificial intelligence, computer-assisted learning, neural networks, gene networks, cognitive computer systems.

ВЫСТУПЛЕНИЕ ЧЛЕНА-КОРРЕСПОНДЕНТА РАН Д.В. УШАКОВА

Материал поступил в редакцию 03.12.2018 г.

Принят к публикации 25.12.2018 г.

Ключевые слова: наука о человеке, искусственный интеллект, нейронные сети, глубинное научение, социальные технологии.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-5873894376-378>

Взаимный интерес исследований в области искусственного интеллекта и социогуманитарных наук ярко проявился в рамках недавно завершившегося конкурса Российского фонда фундаментальных исследований "Конвергенция". В этом конкурсе участвовали проекты, выполняемые совместно естественно-научными и социогуманитарными коллективами. Конкурс открыл новую возможность для междисциплинарного сотрудничества, но он также аккумулировал сведения о том, какие естественно-научные и социогуманитарные дисциплины в наибольшей мере заинтересованы во взаимодействии друг с другом.

Абсолютным чемпионом по числу заявок оказалась информатика, которая более всего востребована для междисциплинарного сотрудничества с социогуманитарными науками. Это касается и искусственного интеллекта. Почему так происходит? Полагаю, что основные причины следующие: во-первых, взаимная полезность в сфере фундаментальных исследований; во-вторых, технологии искусственного интеллекта позволяют решать важные социогуманитарные задачи; в-третьих, сами технологии искусственного интеллекта нуждаются в социогуманитарном сопровождении.

Что касается фундаментальных исследований, в генезисе основных идей искусственного интеллекта можно обнаружить социогуманитарные корни. Например, большую отдачу в наши дни даёт такая технология искусственного интеллекта, как сети глубинного научения. Но вряд ли они сегодня существовали бы без интенсивной предварительной работы в рамках наук о человеке. Идея сети, перерабатывающей информацию, возникла из исследований человека. Философско-психологический ассоцианизм предложил принцип организации мышления человека на основе ассоциаций, которые вызывают в сознании некоторые идеи на базе связанных с ними других идей. Следующий важный шаг — позитивное и негативное подкрепление как фундамент для формирования ассоциации — был сделан в теории И.П. Павлова и в теориях оперантного научения. Затем было дано описание работы узлов сети в виде синапса

Д. Хебба и разработаны формальные нейронные сети Маккаллока—Питса. Наконец, первая нейронная сеть глубинного научения — перцептрон — была создана Ф. Розенблаттом, который, имея широкий круг интересов, в первую очередь всё же был психологом и нейрофизиологом, а затем уже специалистом в области информатики. Аналогичную "родословную" можно реконструировать и для многих других направлений и технологий искусственного интеллекта, например, эвристического программирования.

Безусловно, происходит движение и в обратную сторону. Наиболее яркий пример — когнитивная наука, которая обычно включает четыре дисциплины: психологию, лингвистику, нейрофизиологию и искусственный интеллект. Когнитивная наука, с одной стороны, опирается на компьютерную метафору, с другой — заимствует описание отдельных процессов из искусственных устройств (например, идея фреймов памяти, пришедшая в когнитивные исследования благодаря специалисту в области искусственного интеллекта Р. Шенку).

Второе направление сотрудничества — искусственный интеллект как средство создания технологий для социогуманитарной сферы. Эти технологии становятся всё более востребованными в фундаментальных исследованиях, но не менее важны и для практики.

Информатизация жизни общества приводит к формированию цифровых баз данных, характеризующих поведение людей и социальных групп. Классический пример — Интернет, однако им вопрос не исчерпывается. Так, всякого рода мобильные девайсы стали в последнее время потенциальным источником информации о поведении человека. Ожидается, что эта сфера будет только расширяться. Например, цифровизация образования со временем может привести к накоплению информации обо всех учебных действиях учеников, включая решение задач, написание сочинений и скетчей, рисование изображений и т.д., в масштабах отдельной школы, региона или страны в целом. Обработка этих данных методами искусственного интел-

лекта даёт колоссальные возможности оценки и предсказания поведения людей и различных социальных групп.

Уже сегодня системы искусственного интеллекта используются для выявления потенциально криминогенного поведения людей и установления рейтингов доверия, например, относительно банковских займов. Искусственный интеллект позволяет также автоматически оценивать переживания людей по их лицам, что может использоваться как в школах и офисах, так и при определении потенциальных источников опасного поведения в толпе. Цифровые следы личности, то есть зарегистрированные электронными устройствами действия людей, которые при помощи автоматического анализа могут стать основой выводов об индивидуально-личностных свойствах, уже в ближайшее время найдут применение, по меньшей мере, в сфере профотбора. Искусственный интеллект может быть полезен в образовании, например, для выработки индивидуальных образовательных траекторий учащихся. Вопросно-ответные системы, такие как SIRI, являются близкими родственниками уже появившихся на рынке электронных "ассистентов юриста" и "психотерапевтов". Роботы с искусственным интеллектом, способным распознавать эмоции по лицу и выдавать ответные квазиэмоциональные реакции, уже проявили себя в сфере работы с детьми-аутистами.

Всё большее внедрение в жизнь человека и общества технологий искусственного интеллекта придаёт огромную важность третьему из указанных направлений взаимодействия искусственного интеллекта и социогуманитарных наук — социогуманитарному сопровождению этих технологий.

Возьмем, например, такую сферу применения искусственного интеллекта, как автономный автомобиль, где возникает целая серия социогуманитарных проблем. К области юриспруденции относится вопрос об ответственности в случае приводящих к ущербу аварий автоматического транспорта. Далее возникают непростые дилеммы такого рода: имеет ли право автономный автомобиль задавить взрослого человека, чтобы не нанести ущерба ребёнку; можно ли свернуть на тротуар и сбить там пешехода, чтобы предотвратить неизбежный наезд на находящихся на проезжей части трёх человек и т.д.? Кто и на каком основании должен включать в программы управления автомобилями соответствующие решения?

Контроль за тем, какие действия искусственный интеллект способен совершить в будущем, может оказаться обратно пропорциональным его эффективности. Уже сегодня программы игры

в шахматы заведомо способны делать непредвиденные и более сильные ходы, чем могли бы ожидать люди. Эти программы, однако, не имеют доступа к управлению реальными механическими системами. Автомобили же, с одной стороны, позволяют удовлетворять человеческую потребность в перемещении, а с другой — представляют потенциальную угрозу жизни и здоровью. При соединении этих двух начал возникает реальная опасность неподконтрольности. Вместе с тем попытка создателей предвидеть возможные действия искусственного интеллекта ограничивает его потолок когнитивными способностями конструкторов.

Автономный автомобиль — лишь один из примеров внедрения искусственного интеллекта в нашу жизнь и далеко не самый драматичный. Ещё большей ответственности требуют технологии автоматического пилотирования самолёта, учитывая возможные последствия авиационных аварий. Об этих проблемах на сессии говорил академик С.Ю. Желтов.

Передача машинам контроля над сферами жизни, которые всегда зависели только от людей, приводит к непростым последствиям для общества. Так, обсуждается проблема уничтожения рабочих мест и возможной безработицы, вызванной автоматизацией. В ближайшие десятилетия работу могут потерять профессиональные водители такси, общественного и грузового транспорта. А если искусственный интеллект окажется способен работать в области бухгалтерского учёта и логистики, торговли и жилищного проектирования, перевода и юридического консультирования? Всё это с неизбежностью будет означать перераспределение сфер занятости, причём не вполне понятно, где экспансия искусственного интеллекта остановится. Подобный сценарий развития информационных технологий фактически грозит повторением на новом витке тех же последствий, к каким в начале XIX в. привело широкое внедрение машин, а именно протестов теряющих трудовые места работников. Два столетия назад это вылилось в формирование движения луддитов, которое на своей родине в Англии составило для правительства проблему, соизмеримую по масштабам с проходившими примерно в то же время наполеоновскими войнами. По сравнению с событиями 200-летней давности научная рефлексия над жизнью общества сегодня развита намного больше, поэтому есть возможность предвидеть подобные перспективы. Задача социогуманитарных наук в этом контексте заключается в разработке таких моделей, которые минимизируют отрицательные последствия грядущих изменений.

Технологии искусственного интеллекта могут применяться и с "тёмными" целями — для веде-

ния разрушительной войны или установления господства одних групп лиц над другими. Искусственный интеллект вызывает опасения в связи с возможностью его использования "Большим братом" для выявления неблагонадёжных и чрезмерно свободомыслящих граждан. Впрочем, пока эти технологии, скорее, используются коммерческими предприятиями в целях определения потенциального интереса людей к совершению тех или иных покупок и последующего таргетирования рекламы.

Средства влияния на людей посредством технологий искусственного интеллекта также раз-

виваются. Например, сформировалось понятие "глубинная фальсификация" (deep fakes), которое обозначает технологию, использующую глубинное научение (deep learning) в целях создания достаточно правдоподобной ложной информации (fakes). Глубинная фальсификация основывается на возможности искусственного интеллекта генерировать изображения и ролики, практически не отличимые от настоящих.

В целом искусственный интеллект вызывает к жизни силы, для обуздания которых и направления на благо человечества необходима мощная социогуманитарная проработка.

SPEECH OF CORRESPONDING MEMBER OF RAS D.V. USHAKOV

Received: 03.12.2018

Accepted: 25.12.2018

Keywords: socio-humanistic sciences, artificial intelligence, cognitive science, socio-humanistic support of artificial intelligence technologies.

ВЫСТУПЛЕНИЕ ЗАМЕСТИТЕЛЯ ДИРЕКТОРА ФИЦ "ИНФОРМАТИКА И УПРАВЛЕНИЕ" РАН ДОКТОРА ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИХ НАУК Г.С. ОСИПОВА

Материал поступил в редакцию 03.12.2018 г.

Принят к публикации 25.12.2018 г.

Ключевые слова: лингвистический анализ, коммуникативная грамматика, синтаксема, бинарные отношения, индуктивное машинное обучение, контекстные правила.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-5873894379-380>

В глобальных информационно-телекоммуникационных сетях сегодня циркулирует $4 \cdot 10^{16}$ байт (40 петабайт) неструктурированной и полуструктурированной информации, главным образом текстов. В связи с этим возникают как минимум две группы задач: анализ отдельных текстов и анализ больших массивов, состоящих из сотен миллионов текстов.

Большинство подходов, которые используются в системах, работающих с массивами текстов, основано на информационных измерениях текста и не учитывает его лингвистической природы. Вместе с тем существует целый ряд методов и моделей серьёзного лингвистического анализа текста, а извлечение из текста полезной, то есть осмысленной информации, должно основываться именно на его семантическом анализе. Тем самым мы сталкиваемся с проблемой, и её решением может стать такой подход, который, с одной стороны, не будет игнорировать лингвистической природы текста, а с другой стороны, позволит создавать в ходе анализа структуры, пригодные для использования математических методов.

В качестве основы метода, интегрирующего лингвистические и статистические подходы для анализа больших массивов текстов, нами была выбрана так называемая коммуникативная грамматика русского языка, разработанная в Институте русского языка им. В.В. Виноградова РАН. Ключевая идея данной теории состоит в том, что семантика выражается через синтаксис, и это делает её не предметно-ориентированным, а универсальным инструментом анализа. Согласно главной гипотезе, в самом тексте содержатся минимальные смысловые единицы, "атомы" смыслов, которые нужно уметь выделять. Эти единицы получили название "синтаксем", каждая из них имеет некоторое категориальное значение.

На множестве категориальных значений синтаксем нами определено семейство бинарных отношений. Смысл всего высказывания в таком случае есть множество категориальных значений

синтаксем с заданным на нём семейством бинарных отношений. В результате построен образ высказывания — алгебраическая система с множеством синтаксем в качестве основного множества, семейством бинарных отношений на множестве синтаксем и процедурами интерпретации дуг, позволяющими реализовать аргументационные рассуждения.

Кроме того, нами были применены методы индуктивного машинного обучения для снятия семантической неоднозначности — неоднозначности значений синтаксем. Снимать семантическую неоднозначность позволяют контекстные правила, полученные с помощью методов машинного обучения. Другими словами, контекст, окружающий данную синтаксему, позволяет уточнить её значение. Приведём в качестве примера одно из таких правил: "Если встречается синтаксема в падеже <родительный> с предлогами <из, изо>, имеющая категориальный класс <локатив>, а рядом с ней встречается синтаксема в падеже <именительный>, имеющая категориальный класс <личное>, то первая синтаксема имеет категориальное значение <точка начала движения>". Всего автоматически выверено 600 таких правил.

В итоге построены точное отображение множества синтаксем в множество их значений и семейство бинарных отношений на множестве значений синтаксем. Эта структура названа нами "неоднородная семантическая сеть". Она легла в основу технологии, с помощью которой можно, в частности, анализировать отдельные тексты.

Область применения предложенного метода довольно широка. Можно извлекать информацию, например, из медицинских текстов о лекарственных методах лечения, такой анализ используется для построения медицинских баз знаний. Ещё одно направление — анализ текстовой информации с целью мониторинга военно-политической напряжённости в различных регионах. Наконец, метод востребован в наукометрических

исследованиях. В целом можно ставить и решать задачи преобразования неструктурированного текста в структурированное представление — в таблицы, графики и т. д. На этом пути удалось решить задачи релевантного семантического поиска по запросу на естественном языке (www.exactus.ru), автоматического выявления научных коллективов, научных направлений и динамики публикационной активности по направлениям на основе анализа первичных научных текстов,

анализа патентной информации, оценки качества научных публикаций, обнаружения семантических дефектов, проверки соответствия структуры публикации требованиям журналов, выявления авторских терминов и описания результатов и ряд других задач. Реализованы системы с указанной функциональностью (<http://expert.exactus.ru>, <http://demo.textapp.ru>). В настоящее время, исходя из предложенного подхода, исследуются методы выявления авторской картины мира.

**SPEECH OF THE DEPUTY DIRECTOR OF THE FEDERAL RESEARCH CENTER
INFORMATICS AND MANAGEMENT OF RAS, DOCTOR OF PHYSICAL
AND MATHEMATICAL SCIENCES G.S. OSIPOV**

Received: 03.12.2018

Accepted: 25.12.2018

Keywords: linguistic analysis, communicative grammar, syntaxeme, binary relations, inductive computer-assisted learning, contextual rules.

ОБЩАЯ ДИСКУССИЯ ПО ПРИОРИТЕТУ

Материал поступил в редакцию 03.12.2018 г.

Принят к публикации 25.12.2018 г.

Ключевые слова: В.В. Устинов, В.Б. Бетелин, Е.Е. Тыртышников, К.В. Рудаков.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-5873894381-383>

АКАДЕМИК РАН В.В. УСТИНОВ

Прежде чем говорить о спинтронике, которой посвящено моё выступление, я хотел бы подчеркнуть связь между ключевыми компонентами обсуждаемого нами приоритета. Их объединяют цифровые технологии — это главная, повторяющаяся от доклада к докладу составляющая.

Сегодня мы имеем документ, который принят Правительством РФ, — программу "Цифровая экономика Российской Федерации". В программе определены "сквозные цифровые технологии", создание которых — непереносимое условие успешного решения задач по развитию цифровой экономики. Реализация сквозных технологий обязательно влечёт за собой использование современных компьютеров того или иного масштаба — суперкомпьютеров, персональных компьютеров, процессоров мобильных телефонов и т. д. Совершенно очевидно, что без решения проблемы элементной базы компьютеров говорить об успешности развития цифровой экономики невозможно. Я хочу привлечь внимание именно к аспектам создания элементной базы информационных цифровых технологий сегодняшнего и будущего поколения.

Общая проблема развития современной электроники и вычислительной техники связана с так называемым законом Мура: количество элементов на единицу площади в интегральных микросхемах удваивается каждые два года. Это ведёт к тому, что отдельный элемент микросхемы уменьшается в размерах, причём уже близок тот предел, когда этот размер приблизится к межатомному расстоянию в твёрдом теле.

Очевидно, что экстенсивное развитие современной электроники исчерпало себя и нужны принципиально новые подходы, например, основанные на квантовой механике. Спинтроника — новая наука, которая сформировалась не так давно. Основной ключевой параметр в ней — спин. Это существенно квантовая характеристика электрона, хорошо известного нам как носителя электрического заряда, играющего главную роль в устройствах и приборах электроники. Спин — это внутренний момент вращения, существование

которого ведёт к тому, что у электрона появляется ещё и магнитный момент. А значит, помимо традиционного способа воздействия на электрон со стороны электрического поля, мы получаем новый инструмент, новую степень свободы, когда можем управлять свойствами электрона, его движением с помощью магнитного поля.

Спинтроника зародилась 30 лет назад. П. Грюнберг и А. Ферт получили в 2007 г. Нобелевскую премию за открытие в синтезированных ими слоистых магнитных наноструктурах эффекта гигантского магнитного сопротивления — макроскопического проявления сугубо квантовых эффектов, что оказалось очень важным для разнообразных приложений. Я упомяну только два из них.

Первое — применение новых материалов — многослойных магнитных наноструктур с гигантским магнитосопротивлением — в качестве "считывателя" информации с магнитных носителей. Во всех современных компьютерах устройство считывающих головок основано именно на материалах, в которых используются принципы спинтроники.

Второе крайне перспективное направление — создание оперативной магнитной памяти на этих материалах. Магнитная память по целому ряду параметров превосходит полупроводниковую, над её созданием работают все ведущие производители современной вычислительной техники. О перспективности исследований по спинтронике свидетельствует хотя бы тот факт, что число научных публикаций, содержащих слово "спинтроника", постоянно растёт, и конца этому не видно. Появилось множество новых компаний (к сожалению, за рубежом), которые активно продвигают идеи спинтроники и пытаются разрабатывать на этой основе эффективные устройства обработки информации. Финансирование работ по спинтронике увеличивается быстрыми темпами. В Европе стартовала специальная программа, посвящённая спинтронике, в Соединённых Штатах Америки, Франции, Японии, Германии, Испании созданы новые научные центры и компании, в которых разрабатываются проблемы новой магнитной памяти, вопросы спинтроники решаются применительно к созданию реальных изде-

лий. На западном рынке уже появились первые коммерческие образцы магнитной оперативной памяти, построенной на принципах спинтроники, в повестке дня — её широкое использование.

Спинтроника — это важнейший компонент сквозных цифровых технологий программы "Цифровая экономика Российской Федерации", прямо и непосредственно относящаяся к её разделу "Квантовые технологии". Широкое развитие в России исследований по спинтронике, нацеленное на создание перспективных технологий производства элементной базы современной квантовой электроники, приборов и устройств цифровой обработки информации, — насущная задача для России.

Российская академия наук могла бы стать инициатором Национального мегапроекта по широкому развёртыванию фундаментальных исследований в области спинтроники, ориентированных на создание элементной базы современной квантовой электроники. Концентрация усилий научного сообщества на прорывных направлениях, одно из которых, несомненно, — спинтроника, это залог успеха в обеспечении технологического рывка России в будущий мир высоких технологий.

АКАДЕМИК РАН В.Б. БЕТЕЛИН

Стратегия научно-технологического развития Российской Федерации определяет ключевую роль фундаментальной науки. Эта роль состоит в том, чтобы обеспечить готовность страны к большим вызовам, ещё не проявившимся и не получившим широкий общественный резонанс. Очевидный вызов — импортозависимость России в области элементной базы. Собственно фундаментом всего, о чём сегодня говорилось, является элементная база.

Россия импортозависима в этой области, поскольку она только потребитель на глобальном рынке полупроводников, объём которого порядка 400 млрд долл. Половина этого объёма приходится на США, где данный сектор обеспечивает 1 млн рабочих мест, из них 250 тыс. — основных. В России эти цифры на три порядка меньше по выручке и на два порядка — по численности. Это и определяет импортозависимость по всему спектру, включая суперкомпьютеры, радиоэлектронику, бытовую электронику и пр. Импортозависимость пронизывает всю нашу деятельность, зачитанные здесь доклады с очевидностью говорят об этом.

В чём же заключается ещё один большой вызов? За 25 лет в России выросло целое поколение, которое дома и на работе использует зарубежную электронику. Основная причина в том, что в те-

чение четверти века у нас под словом "экономика" понимается экономика услуг, а не экономика производства промышленной продукции. Эта идея трансформировала образовательную сферу, которая куёт активных носителей импортозависимости. С позиции экономики услуг образование — растущая отрасль экономики, сопоставимая по доходам с нефтяным сектором. Системе образования этой экономики не нужно учить производить промышленную продукцию, поэтому приходит конец так называемой "принудительной школе", которая только и может обеспечить восстановление и рост промышленного производства в стране.

АКАДЕМИК РАН Е.Е. ТЫРТЫШНИКОВ

Хочу обратить внимание на одну проблему, связанную с нашими достижениями. Если говорить о суперкомпьютерном моделировании отдельных сложных систем, то здесь у России позиции очень хорошие. Есть, например, модель климатической системы Института вычислительной математики им. Г.И. Марчука, которая успешно участвует в соревновании лучших моделей мира. Есть ещё одна модель, тоже единственная в России, которая используется для составления оперативных прогнозов погоды и полностью готова для работы с высокой эффективностью на новом компьютере Гидрометцентра — почти 30 тыс. процессоров. Однако вот в чём проблема.

На Западе многие суперкомпьютерные установки применяются не только для подготовки крупного вычислительного эксперимента, но и для отладки и перепроверки результатов, поэтому прежде чем представить расчёт для сравнения, выполняется десяток или больше его вариантов. А мы можем позволить себе только один расчёт. Значит, то, что говорилось здесь о необходимости создания суперкомпьютерных центров, безусловно, актуально, но недостаточно: нужны не только суперкомпьютеры в центре общего пользования, должны быть и центры со специализацией, нацеленные на решение крупной научной проблемы, например, моделирования климата и смежных задач.

АКАДЕМИК РАН К.В. РУДАКОВ

Наша математическая научная школа с 1970-х годов занимается проблематикой, называемой сегодня, в том числе, искусственным интеллектом. Правда, название периодически меняется — "распознавание образов", "обучение машин", "интеллектуальный анализ Больших данных" и т. п. Сейчас наиболее очевидно проявились две особенности этой области.

Во-первых, она стала настолько популярной, что относительно неё складываются завышенные ожидания. Большие данные, искусственный интеллект — эти слова звучат как некие мантры, будто они сами по себе позволяют решить те или иные задачи. Это неправда, с точки зрения математики особенно заметного прогресса здесь нет. Да, результаты внедряются очень широко, но как всегда, когда область популярна, в неё устремляется много непрофессионалов. Думаю, в плане оценки постановки и качества решения прикладных задач роль Академии наук должна стать существенно более заметной.

Во-вторых, важно разъяснять, что в большинстве случаев то, о чём идёт речь, вовсе не искусственный интеллект. Многие задачи не требуют использования сверхресурсов, они решаются просто, часто на бытовом компьютере. Суперкомпьютеры пытаются использовать не по назначению, там, где не нужны серьёзные вычислительные ресурсы. Конечно, если речь идёт о Навье—Стоксе или моделях климата, то это так, но, например, в промышленности надо помогать людям разумно ставить задачи и правильно их решать, и если задача решается просто, её и следует решать просто. Ведь завышенные ожидания порождают большие разочарования.

GENERAL DISCUSSION ON PRIORITIES

Received: 03.12.2018

Accepted: 25.12.2019

Keywords: V.V. Ustinov, V.B. Betelin, E.E. Tyrtysnikov, K.V. Rudakov.

**НАУЧНАЯ СЕССИЯ
ОБЩЕГО СОБРАНИЯ ЧЛЕНОВ РАН**

ПРИОРИТЕТ НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ "ВОЗМОЖНОСТЬ ЭФФЕКТИВНОГО ОТВЕТА РОССИЙСКОГО ОБЩЕСТВА НА БОЛЬШИЕ ВЫЗОВЫ С УЧЁТОМ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЧЕЛОВЕКА И ПРИРОДЫ, ЧЕЛОВЕКА И ТЕХНОЛОГИЙ, СОЦИАЛЬНЫХ ИНСТИТУТОВ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ ГЛОБАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ, В ТОМ ЧИСЛЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДОВ ГУМАНИТАРНЫХ И СОЦИАЛЬНЫХ НАУК"

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ СОВЕТА ПО ПРИОРИТЕТУ АКАДЕМИК РАН А.А. ДЫНКИН

**СОЦИАЛЬНО-ГУМАНИТАРНОЕ ИЗМЕРЕНИЕ ОТВЕТОВ
НА БОЛЬШИЕ ВЫЗОВЫ**

© 2019 г. А.А. Дынкин

*Национальный исследовательский институт мировой экономики
и международных отношений им. Е.М. Примакова РАН, Москва, Россия*

E-mail: dynkin@imemo.ru

Поступила в редакцию 18.12.2018 г.
Поступила после доработки 18.12.2018 г.
Принята к публикации 28.12.2018 г.

Статья посвящена выбору приоритетных направлений, в том числе социально-гуманитарных исследований, исходя из общественных потребностей и так называемых больших вызовов, а не в традиционной логике развития фундаментальной науки, которая может иметь собственную динамику, не всегда связанную с реальными потребностями или платёжеспособным спросом. Подобный подход отвечает новой концептуальной логике, представленной в Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации. Для решения задачи выбора приоритетов применялся метод социологических опросов двух типов — широкого общественного и экспертного.

Ключевые слова: приоритеты, потребности, большие вызовы, социально-гуманитарные исследования, Стратегия научно-технологического развития Российской Федерации.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-5873894384-389>

Теоретически все большие вызовы включают задачи, решение которых возможно методами социальных и гуманитарных наук или на стыке с ними. В нашем научном сообществе сохраняется деление на, образно говоря, "естественные" и "противоестественные" дисциплины. Эта дихотомия, вошедшая в обиход с лёгкой руки Л.Д. Ландау, жива и поныне. Корни подобного технократического шовинизма кроются в справедливой оценке начётничества таких дисциплин, как научный коммунизм или политэкономия социализма. За последние три десятилетия общественные науки в основном преодолели былую гиперидеологичность и пропагандистский уклон.

ДЫНКИН Александр Александрович — академик РАН, президент ИМЭМО РАН.

В данной предметной области действуют собственные закономерности и взаимосвязи. Конечно, они не реализуются со скоростью закона Ома, но они столь же неотвратимы.

Координационный совет (КС) по приоритету научно-технологического развития "Возможность эффективного ответа российского общества на большие вызовы с учётом взаимодействия человека и природы, человека и технологий, социальных институтов на современном этапе глобального развития, в том числе с применением методов гуманитарных и социальных наук", исходя из нашего понимания логики больших вызовов и приоритетов, сформулированных в Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации (СНТР), сфокусировал работу по шести направлениям. Были созданы шесть постоян-

но действующих проектных групп, лидеры четырёх из них представят доклады на нашей сессии. Каждая группа отвечает за соответствующее направление:

- анализ институциональных ограничений инновационной экономики; интеграция экономической, инновационной и научной политики;
- демографический переход и четвёртая промышленная революция: трансформация рынка труда и структуры занятости;
- парирование экологических проблем с помощью оптимизации взаимодействия человека и природы, человека и технологий;
- новые и традиционные внешние военные и невоенные угрозы национальной безопасности;
- международные этнополитические, трансграничные и вооружённые конфликты — актуальные и потенциальные;
- социальная и культурная безопасность — вызовы технологического развития, институциональные дисбалансы и кризис идентичности.

В 2018 г. Координационным советом был проведён ряд проектных семинаров, созданы экспертные сети. На декабрь в Институте мировой экономики и международных отношений им. Е.М. Примакова (ИМЭМО) РАН запланирована большая международная конференция "EMERTECH"-2018 с участием более 30 зарубежных исследователей, панели которой структурированы под задачи проектных групп.

В 2018 г. по контракту с Министерством науки и высшего образования РФ выполнено прогностическое исследование в интересах СНТР и нашего КС. Исполнители — ИМЭМО РАН при участии НИЦ "Курчатовский институт"¹. Далее я приведу некоторые из полученных нами результатов.

Академик А. М. Сергеев во вступительном слове упомянул в числе стоящих перед нами задач возвращение Российской академии наук былого общественного авторитета. Чего же хочет общество от науки? Для выявления отношения российского общества к большим вызовам мы использовали социологические методы. Проведено два опроса:

• широкий опрос о восприятии общественным мнением больших вызовов, обозначенных в СНТР, позволивший их ранжировать, определить проблемы и ограничения их парирования;

• экспертный (204 участника) оценочный опрос о путях реагирования, возможных направлениях исследовательских проектов и потенциальных рынках, формирующихся на их основе; в этом опросе участвовали члены Совета молодых учёных РАН, члены молодёжного КС при Совете по науке и образованию при Президенте РФ.

Ранжирование больших вызовов с точки зрения оценки наибольших угроз приведено на рисунке 1, а. В стилизованном под социологический опрос виде были сформулированы основные вызовы СНТР.

В общественном сознании респондентов низкие темпы роста, близкие к экономической стагнации (хотя вполне приличные по современным стандартам ЕС), однозначно воспринимаются как приоритетный вызов. Второй по значимости считается угроза военных конфликтов. Дефицит транспортной и иной инфраструктуры, старение населения, деградация среды расположились на 3, 4 и 5 местах соответственно. Меньше всего опрошенных беспокоит дефицит энергетических ресурсов и продовольствия.

В числе социально-экономических проблем и барьеров, мешающих научно-технологическим прорывам, опрос отдаёт приоритет "низкой социальной ценности научной деятельности", связанной с ней "утечке мозгов" и растущему социальному неравенству, в то время как рост безработицы, несмотря на все медийные страшилки про искусственный интеллект и "промышленную революцию 4.0.", пугают лишь 3% опрошенных (рис. 1, б). Этот результат получен в самом начале ноября 2018 г. Любопытно, что участники опроса не совершают распространённую ошибку, для обозначения которой в экономической теории существует даже специальный термин — "заблуждение, предполагающее фиксированный объём труда" (the lump of labor fallacy). Речь идёт об умозаключениях типа "Если производительность труда в результате внедрения новых технологий выросла на x процентов, то значит, спрос на рабочую силу снизится также на x процентов". Это ложный силлогизм, так как исходит из предположения о фиксированности объёма выпуска и не учитывает действия разнообразных макроэкономических эффектов обратной связи. На самом деле при повышении производительности труда объём выпуска не остаётся неизменным: её рост влечёт за собой увеличение доходов либо предпринимателей, внедривших нововведения, либо работников, начинающих использовать более совершенное

¹ Совместный исследовательский проект ИМЭМО РАН и НИЦ "Курчатовский институт" для Министерства науки и высшего образования РФ «Разработка прогноза реализации приоритета научно-технологического развития, определённого пунктом 20ж "Возможность эффективного ответа российского общества на большие вызовы с учётом взаимодействия человека и природы, человека и технологий, социальных институтов на современном этапе глобального развития, в том числе с применением методов гуманитарных и социальных наук" Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации». http://www.imemo.ru/Outlook_Studies (дата обращения 21.12.2018)

a

Вопрос: Какие глобальные вызовы/проблемы представляют, по Вашему мнению, наибольшую угрозу для России в перспективе 10–12 лет?

*б*

Вопрос: Какие социально-экономические проблемы и диспропорции общественного развития являются основным препятствием для прорывного научно-технологического развития России (выберите три ответа)?

*в*

Вопрос: На каких направлениях научно-технологического развития с точки зрения интересов российского общества целесообразно сосредоточить основные финансовые, кадровые и иные ресурсы (выберите три ответа)?



Рис. 1. Результаты широкого опроса о восприятии общественным мнением больших вызовов и перспектив научно-технологического развития

a — большие вызовы в общественном восприятии; *б* — барьеры прорывного научно-технологического развития; *в* — критические технологии

20-летний прогноз влияния искусственного интеллекта на занятость по секторам экономики, 2017–2037 гг.

Прогноз выбытия и создания рабочих мест искусственным интеллектом, 2017–2037						
сектор	существующих рабочих мест, 2017, %			количество рабочих мест, тыс. человек		
	создание	выбытие	результат	создание	выбытие	результат
Здравоохранение и социальная сфера	34	– 12	22	1,481	– 526	955
Научно-техническая сфера	33	– 18	16	1,025	– 541	484
Информация и коммуникации	27	– 18	8	388	– 267	121
Образование	12	– 5	6	345	– 158	187
Административное и сервисное обслуживание	23	– 24	– 1	698	– 733	– 35
Оптовая и розничная торговля	26	– 28	– 3	1,276	– 1,403	– 127
Строительство	12	– 15	– 3	279	– 355	– 75
Финансы и страхование	18	– 25	– 7	209	– 286	– 77
Государственное управление и оборона	4	– 23	– 18	64	– 339	– 274
Транспорт и хранение	17	– 38	– 22	296	– 683	– 387
Производство	5	– 30	– 25	133	– 814	– 618
Итого	20	– 20	0	7,176	– 7,008	169

оборудование, либо потребителей, получающих выгоду за счёт снижения цен, а чаще всего и тех, и других, и третьих. Возросшие доходы транслируются в более высокий потребительский и инвестиционный спрос, а удовлетворить его нельзя без привлечения дополнительных рабочих рук. Иными словами, и в теории, и на практике вполне представима ситуация, когда внедрение новых технологий будет не уменьшать, а увеличивать число рабочих мест в экономике. Этот вывод подтверждается, в частности, 20-летним прогнозом по трудоустройствам к эффекту искусственного интеллекта в Великобритании². Конечно, эффект неравномерен по секторам, но на 20-летнем горизонте нейтрален по отношению к труду (табл.). Таким образом, результаты английских коллег свидетельствуют о компетентности наших респондентов.

Общественное мнение однозначно указывает на востребованный набор перспективных технологий – медицина, фармацевтика, цифровизация, робототехника, что отражает понимание проблемного положения в этих сферах и необходимости его преодоления и достаточно точно совпадает с целями, обозначенными в СНТР. Об этом

говорят ответы на вопрос о критически важных технологиях, на которых, по мнению респондентов, стоит сосредоточить основные финансовые, кадровые и другие ресурсы (рис. 1, в).

Экспертный опрос о путях реагирования на вызовы, в отличие от широкого общественного, предполагал количественную 10-балльную оценку, позволяющую сравнивать значимость ответов. Для наглядности ответы сгруппированы по средним показателям значимости: высокая, средняя, низкая. Эксперты, как и общество, полагают, что основные ограничения для эффективного ответа России на "большие вызовы" обусловлены экономической стагнацией и социальным неравенством. Любопытно, что военные конфликты и санкции в научно-технической и финансовой сфере представляют, по оценкам экспертов, почти одинаковую угрозу (рис. 2, а).

В предложенном для оценки спектре возможных приоритетов научных исследований и, соответственно, приоритетов формирования комплексных планов научных исследований перспективными направлениями в социогуманитарной сфере названы экономические, прогностические, социологические и демографические исследования. Оценки значимости изучения безопасности, истории и этнических конфликтов в контексте указанных вызовов оказались несколько ниже (рис. 2, б).

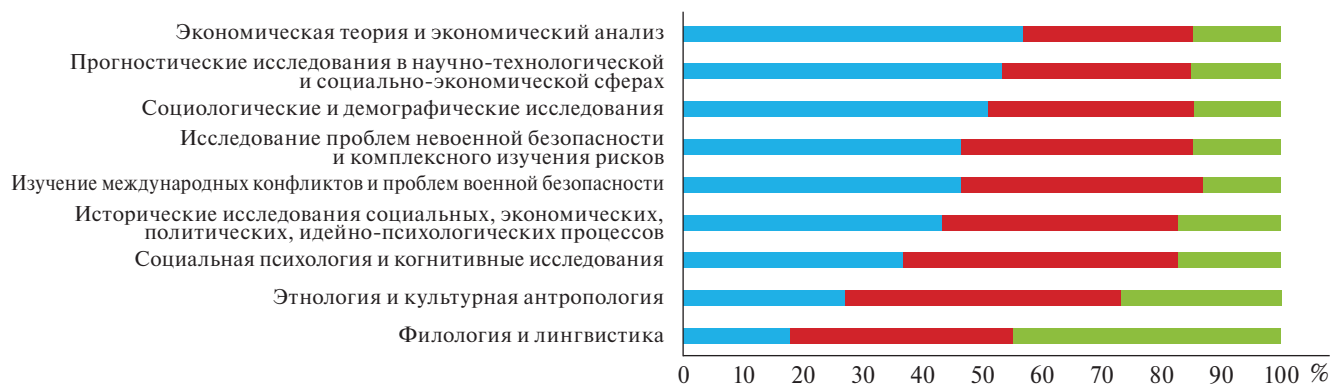
¹ UK Economic Outlook. PricewaterhouseCoopers. 2018. <https://www.pwc.co.uk/economic-services/ukeo/ukeo-july18-net-impact-ai-uk-jobs.pdf> (дата обращения 1 ноября 2018)

а

Вопрос: Какие большие вызовы Вы считаете наиболее значимыми в перспективе 10–12 лет для социально-экономического и научно-технического развития РФ?

*б*

Вопрос: Какие направления развития гуманитарных и общественных наук Вы считаете приоритетными для поиска путей реагирования на большие вызовы на долгосрочную перспективу?

*в*

Вопрос: Какие продукты и/или технологии могут быть созданы в результате развития социогуманитарных исследований по указанным направлениям?



■ ВЫСОКАЯ значимость ■ СРЕДНЯЯ значимость ■ НИЗКАЯ значимость

Рис. 2. Результаты экспертного опроса о путях реагирования на большие вызовы и перспективных направлениях научных исследований и разработок

а — ранжирование больших вызовов по их значимости; *б* — ранжирование приоритетных направлений развития гуманитарных и общественных наук; *в* — выявление возможных продуктов/технологий — результатов социогуманитарных исследований

Эксперты в целом поддержали предложенный набор перспективных социогуманитарных технологий: все технологии поддержаны на уровне 80%, полностью отрицательных оценок нет. В качестве наиболее перспективных экспертами были выделены новые методики оценки рисков и угроз в широком спектре областей (рис. 2, в).

В результате проделанной работы мы пришли к следующим выводам:

- представленная методика выявления отношения общества к большим вызовам и направлениям реагирования на них позволяет выстроить иерархию общественной озабоченности, оценить значение разных вызовов, показать социально значимые направления реагирования;
- сравнение общественного мнения и экспертных оценок по иерархии вызовов показывает, что при общем характере оценок приоритетности проблем эксперты больше озабочены вызовами социального характера;
- эксперты поддержали предложенный набор продуктов и технологий, который может сформироваться в результате развития социогуманитарных исследований по указанным направлениям.

Социально-гуманитарная экспертиза больших вызовов и оптимизация инструментов и методов их парирования определяется воздействием этих вызовов на классическую триаду: личность, об-

щество, государство. Мои коллеги далее будут говорить преимущественно о вызовах обществу и государству, поэтому скажу несколько слов о личности. Специалисты из проектной группы № 6 под руководством члена-корреспондента РАН И.С. Семененко полагают, что большой вызов для личности — кризис идентичности. Одна из основных его причин — размывание ценностных ориентиров и неопределённость личных жизненных перспектив. Неустойчивые социальные связи актуализируют ситуативные, в том числе деструктивные групповые идентичности. Это источник угроз для социальной и культурной безопасности. Ответом является развитие форм гражданской самоорганизации и институтов обратной связи граждан и государства. В качестве такой формы выступает в том числе *политика идентичности*, в которую должны быть вовлечены, помимо государства, наука и институты образования, гражданские организации, бизнес, СМИ. Такая новая постановка проблемы вызывает большой резонанс. Образовательный фонд "Талант и Успех" и организованный им образовательный центр "Сириус", на базе которого сегодня создаётся университет, выразили заинтересованность в разработке образовательных программ и совместных исследованиях идентичности.

SOCIAL AND HUMANITARIAN MEASUREMENT OF RESPONSES TO GRAND CHALLENGES

© 2019 A.A. Dynkin

Primakov National Institute of World Economy and International Relations of RAS (IMEMO), Moscow, Russia

E-mail: dynkin@imemo.ru

Received: 18.12.2018

Revised version received: 18.12.2018

Accepted: 28.12.2018

The article is concerned with the selection of priorities in research fields, including social and humanitarian studies, based on social needs and the so-called grand challenges. These priorities are not founded in the traditional logic of the development of basic science which can have its own dynamics that are not always associated with real needs or effective demand. Such an approach conforms to the new conceptual logic presented in the Strategy of the Scientific and Technological Development of the Russian Federation. To solve the problem of choosing priorities, sociological polling of two types-general public and expert was used.

Keywords: priorities, needs, grand challenges, social and humanitarian studies, Strategy of the Scientific and Technological Development of the Russian Federation.

ПРИЧИНЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ И ПУТИ УРЕГУЛИРОВАНИЯ ЭТНОПОЛИТИЧЕСКИХ КОНФЛИКТОВ

© 2019 г. В.В. Наумкин

Институт востоковедения РАН, Москва, Россия

E-mail: director@ivran.ru

Поступила в редакцию 03.12.2018 г.
Поступила после доработки 23.01.2019 г.
Принята к публикации 25.01.2019 г.

В контексте причин возникновения и путей урегулирования этнополитических конфликтов рассматриваются три пояса этнополитической конфликтности, непосредственно затрагивающие интересы России. Подчёркнута связь этнополитической конфликтности с трансформацией процесса глобализации, которая сталкивается с целым рядом вызовов. Выявлены семь основных характерных черт современного миропорядка, оказывающих большое влияние на состояние этнополитических конфликтов и на перспективы их урегулирования.

Ключевые слова: этнополитические конфликты, миграции, идентичность, глобальная управляемость, терроризм, гибридность, экспертное сопровождение.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-5873894390-392>

Моя статья посвящена проблеме, относящейся к пятому направлению из того перечня, о котором говорил академик А.А. Дынкин. Если посмотреть на современное состояние этнополитических конфликтов, то мы видим, с одной стороны, их трансформацию, а с другой — появление конфликтов нового поколения, с элементами, особенно опасными в условиях высокого уровня насилия.

Исходя из национальных интересов Российской Федерации, можно говорить о трёх поясах конфликтности. Первый из них находится в России, поскольку у нас тоже есть свои очаги напряжённости, временами вспыхивающие конфликтами. Второй пояс — страны СНГ. Третий — дальше зарубежье, где есть интересы нашего государства. К таким территориям относится, например, Ближний Восток.

Согласно классическому определению, этнополитический конфликт — это осуществляемое в той или иной форме групповое противоборство преследующих политические цели двух или нескольких сторон, когда хотя бы одна из них апеллирует к этничности. Представление о том, каким образом подобные конфликты затрагивают национальные интересы России, требует адаптации к новой международной действительности. Охарактеризую ряд её важнейших черт.

Первой из них является то, что практически все страны сегодня охвачены процессом глобализа-

ции. Глобализация предполагает свободное передвижение по миру трёх основных потоков: товаров и капитала; людей; информации и культурных ценностей. Россия глубоко вовлечена в процесс глобализации, она оказывается, подобно другим странам, как бенефициаром этого процесса, так и его жертвой, потому что зависимость от зарубежных игроков, безусловно, относится к негативным последствиям глобализации. Одновременно наблюдается тенденция к ограничению глобализации, даже её сворачиванию. Носителями этой тенденции выступают и наиболее развитые страны мира, в первую очередь США, и развивающиеся страны, которые, вроде бы являясь безусловными бенефициарами глобализации, видят для себя угрозу в самом этом процессе и в том, как он используется силами, стремящимися к международному доминированию. Привычной становится практика торговых войн, причём в их ярко политизированном варианте, а также введения санкций против наций и государств, корпораций и компаний или же политических элит. Те ограничения, которые сегодня накладываются на торговлю и разного рода обмены, в том числе информационные, безусловно, грозят серьёзным ущербом для национального развития нашей страны. Эти ограничения используются как оружие, превращаясь в препятствие на пути развития глобализации.

Следующая, вторая, характерная особенность современного мира — быстрый рост числа мигрантов, которые перемещаются в основном в направлении с юга на север, что порождает межэтниче-

НАУМКИН Виталий Вячеславович — академик РАН, научный руководитель ИВ РАН.

скую напряжённость. Растущий разрыв в уровне жизни и демографические проблемы Севера будут и далее способствовать миграциям, усиливая конфликтность. Приведу лишь одну цифру. По прогнозам ООН, между 2015 и 2050 гг. коренное население Европы уменьшится на 63 млн человек, но туда за это время прибудет 31 млн мигрантов. Общий объём притока мигрантов в развитые страны за это время составит, как ожидается, 91 млн человек. В связи с демографическими трудностями рост числа мигрантов неизбежен и в нашей стране, а с исчерпанием ресурсов ближнего зарубежья и возможным увеличением их притока из дальнего зарубежья будут возникать новые проблемы.

Третья особенность — уже упоминавшийся академиком А.А. Дынкиным кризис идентичности, выступающий одной из непосредственных причин этнополитических конфликтов. Влияние сильных цивилизаций воспринимается как фактор, угрожающий существованию слабых или тех, кто позиционирует себя в качестве слабых. Оно вызывает подъём националистических чувств и стремление отгородиться от идущих извне культурно-информационных потоков, посредством которых может происходить внедрение чуждых местной культуре ценностей, что понимается как угроза самому существованию национального сообщества и суверенного государства. Та же ситуация воспроизводится в случае с меньшинствами, которым угрожает доминирование культуры главной этнонации. На повестке дня стоит вопрос о праве этнонациональных групп на свою исконную идентичность и её защиту, который сегодня может ставиться как относящийся к области международного права. На фоне усиления эгоистических тенденций политики большого числа государств это серьёзная угроза.

К существенным чертам современной ситуации относится, в-четвёртых, то, что после распада прежнего мирового порядка новый всё ещё не построен. Самым оптимистичным будет сказать, что новый порядок лишь рождается, и рождается он в муках. Произошла резкая разбалансировка, если не утрата глобальной управляемости, что сказывается и на эффективности попыток урегулирования конфликтов. Кризисом охвачена вся система международных организаций, в том числе ООН и институты, которые занимаются миротворчеством, деструктивные процессы затрагивают и систему международного права. При этом на урегулирование конфликтов тратятся большие ресурсы. Поэтому роль научного сообщества здесь очень важна — и в плане экспертного сопровождения, и в виде научной дипломатии.

Пятый момент, на который нужно обратить внимание: на фоне утраты глобальной управляемости возрастает роль региональных государств, каждое

из которых обременено массой нерешённых межэтнических и межконфессиональных проблем. Обострилось соперничество за обладание ресурсами, в том числе между этнонациональными элитами. Хотя императивом выступает тезис о всеобщем праве на равный доступ к ресурсам, именно это подогревает соперничество одновременно за доступ к властным полномочиям и за региональное влияние. Резко возросшая потребность в защите интересов этнических и конфессиональных групп вызывает появление всё большего числа групп солидарности, часть из них стремительно вооружается. На этом фоне значительное число конфликтов актуализуется под воздействием разного рода спусковых механизмов или, став объектом манипуляций со стороны внутренних или внешних факторов, переходит из латентной формы, в которой они пребывали в течение десятилетий, в насильственную. Во главе групп, которые расплодились в странах, где воцарились хаос и анархия, а отношения между этническими национальными группами обострились, стоят в основном негосударственные акторы, в том числе исповедующие радикальные экстремистские взгляды и пытающиеся реализовать проекты государственного строительства с помощью террористических методов. К таким группам относится запрещённое в России так называемое Исламское государство (ИГИЛ, или ДАИШ). Оно, подчеркну, хотя и потеряло территорию, на которой пыталось создать своё квазигосударство, вовсе не утратило политический потенциал и имеет большое число сочувствующих в исламском мире.

Разрыв между государствами, нациями и этническими группами в уровнях ВВП и доходов населения составляет шестую отличительную особенность современной международной ситуации. Социальные болезни, в первую очередь бедность и безработица, отсутствие доступа к медицинской помощи, образованию, чистой питьевой воде создают питательную среду для обострения старых и появления новых этнополитических конфликтов. Обозначенные проблемы продолжают нарастать, а их кардинального решения не просматривается.

Народы, которым по-прежнему не удалось создать собственное государство, — ещё одна, седьмая, важная структурная черта и проблема мирового сообщества. Например, на Ближнем Востоке такими народами оказываются курды и палестинские арабы. Их национальные чаяния вступают в острое противоречие с интересами государств, на территории которых они проживают или под оккупацией которых находятся. Глобальные державы манипулируют элитами этих народов в своих геополитических интересах зачастую для ослабления неугодных режимов. Подобные манипуляции имеют особо тяжёлые последствия тогда, когда глобальная держава в нарушение норм международного права

осуществляет вооружённое вторжение на территорию того или иного государства для свержения правящего в нём режима. Эти процессы наносят ущерб интересам не только стран, ставших объектами агрессии, но и других государств, связанных с ними отношениями торгово-экономического сотрудничества. Более того, эти процессы оказывают деструктивное влияние на саму систему наций и государств, что сказывается так или иначе на всех государствах, но в первую очередь на тех, которые ранее находились в колониальной зависимости и границы между которыми были прочерчены колониальными администраторами. В результате некоторые из них перешли в категорию так называемых "провалившихся" государств, на их территории власть и контроль над ресурсами поделены между разнородными силами, в том числе позиционирующими себя как выразителей интересов этнических, конфессиональных и региональных групп населения. К таким странам относятся Ливия, Сирия, Йемен, Сомали и др.

Те потери, которые понёс российский бизнес в результате событий последнего десятилетия, огромны, и ущерб, к сожалению, не предвидели и никак заранее не просчитывали, потому что, по большому счёту, риски для бизнеса плохо просчитываются, в том числе и вследствие недостаточно профессиональной экспертной оценки или нежелания привлечь к этому экспертов, прежде всего академического уровня компетенции.

Таким образом, урегулирование сталкивается с большим числом препятствий. Именно поэтому, несмотря на мощную международную правовую

базу, не удалось добиться решения одного из самых застарелых конфликтов — арабо-израильского, или палестино-израильского. Остаётся нерешённым карабахский конфликт, далёк от окончательного урегулирования конфликт в Сирии.

В условиях хаотичного миропорядка и усиления роли региональных факторов существующие конфликты приобретают характер "гибридных" — по аналогии с феноменом гибридной войны. Применительно к этнополитическим конфликтам гибридность означает включение в многоуровневое противоборство широкого арсенала средств — от вооружённого насилия до информационной войны с использованием кибероружия, а также Интернета, теле- и радиовещания, народной дипломатии и разного рода международных площадок. С развитием новых информационных технологий последняя форма противостояния всё более выдвигается на первый план.

Трансформация, которую переживают этнополитические конфликты в новых международных реалиях, требует научной концептуализации и сопровождения. Более широкое привлечение учёных Российской академии наук как социогуманитарного направления, так и владеющих методами точных наук, могло бы помочь экспертной проработке принимаемых административных решений. Повторю: нерешённость этнополитических конфликтов угрожает стабильности многих государств и регионов мира, негативно влияет не только на глобальную безопасность, но и на реализацию текущих и среднесрочных целей российского государства в целом и отечественного бизнеса в частности.

ROOT CAUSES AND WAYS OF THE SETTLEMENT OF ETHNO-POLITICAL CONFLICTS

© 2019 V.V. Naumkin

Institute of Oriental Studies, Moscow, Russia

E-mail: director@ivran.ru

Received: 03.12.2018

Revised version received: 23.01.2019

Accepted: 25.01.2019

The presentation analyzes three belts of ethno-political conflict that directly affect the national interests of Russia. The link between ethno-political processes and globalization is highlighted, uncovering a number of challenges. Seven characteristic features of the contemporary world order are identified and their influence on the state of ethno-political conflicts and the prospects for their settlement are discussed.

Keywords: ethno-political conflict, migrations, identity, global governance, terrorism, hybridity, expert support.

ТРАНСФОРМАЦИЯ ВНЕШНИХ УСЛОВИЙ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАЦИОНАЛЬНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ РОССИИ

© 2019 г. Ф.Г. Войтоловский

*Национальный исследовательский институт мировой экономики
и международных отношений им. Е.М. Примакова РАН, Москва, Россия*

E-mail: seadog@imemo.ru

Поступила в редакцию 11.12.2019 г.
Поступила после доработки 12.02.2019 г.
Принята к публикации 18.02.2019 г.

Статья посвящена ведущим внешним экономическим и военно-политическим факторам обеспечения национальной безопасности Российской Федерации. Анализируются основные текущие и перспективные тенденции развития системы международных отношений, связанные с продолжающимся ростом финансово-экономической взаимозависимости и нарастающей межгосударственной конкуренции. Рассматриваются новые роли, которые традиционные и новые ведущие державы играют в этих процессах, а также противоречия между ними. Особое внимание уделено процессам, связанным с распадом системы контроля над вооружениями и вызванным этим ухудшением глобальной и региональной военно-политической обстановки — в Европе и в Азиатско-Тихоокеанском регионе. Выявлены главные обусловленные названными трансформациями направления возникновения рисков для национальной безопасности России.

Ключевые слова: миропорядок, национальная безопасность, Россия, США, НАТО, КНР, российско-американские отношения, американо-китайские отношения, стратегическая стабильность, контроль над вооружениями, внешнеполитические риски, стратегические наступательные вооружения.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-5873894393-399>

Новые параметры международной конкуренции. Современный миропорядок — это уже не однополярный мир 1990-х — начала 2000-х годов. Формируется полицентричный миропорядок со своей системой принципов и институтов политической и экономической организации и регулирования. В основе этого процесса лежат укрепление новых региональных и глобальных центров мировой экономики и политики и развитие сложной многовекторной системы сотрудничества и конкуренции между ними, а также между ними и прежними лидерами международной системы, которые всеми средствами стремятся сохранить за собой доминирующие позиции.

Укрепление позиций новых лидеров миропорядка всё больше сказывается на глобальном и региональных балансах экономических и политических сил. Новые лидеры не всегда обладают достаточным социальным капиталом, экономическим, научно-технологическим и военным потенциалом, чтобы претендовать на особую роль во всех сферах одновременно, но стремятся капитализировать своё лидерство в одной или нескольких

из них. В 1970–2000-е годы крупнейшими центрами развития транснационального капитала были США, страны ЕС и Япония, а также ряд связанных с ними стран. Однако со второй половины 2000-х годов значительно укрепилась в мировой экономике позиция транснациональных компаний и банков, связанных с новыми центрами силы в мировой экономике, прежде всего с КНР. Растёт значение транснациональных компаний из Индии, стран, входящих в Ассоциацию государств Юго-Восточной Азии (АСЕАН). Распространение их влияния за пределы отдельных регионов, развитие вынесенной за границы стран производственной, транспортной и иной инфраструктуры меняет глобальную экономическую и политическую географию, формирует новые условия конкуренции. Россия лишь отчасти вовлечена в эти процессы, особенно на азиатских рынках.

Определяющим современным мироустройством фактором становится сочетание направленности новых глобальных и региональных игроков на реконструкцию глобальной финансово-экономической и политической иерархии и субъективного стремления прежних лидеров сохранить приоритет за собой. Экономическим и политическим локомотивом формирования полицентрич-

ВОЙТОЛОВСКИЙ Фёдор Генрихович — член-корреспондент РАН, директор НИ ИМЭМО им. Е.М. Примакова РАН.

ного миропорядка становятся страны большого Индо-Тихоокеанского региона. Они укрепляют свои позиции в различных сферах международной конкуренции — экономической (промышленное производство и сфера услуг, инвестиции, торговля), научно-технологической, военно-экономической и военно-технологической, в области развития человеческого капитала и качества трудовых ресурсов.

Если на глобальном уровне по большинству этих параметров безусловным лидером остаются США, то в Азии ситуация меняется, и хотя лидерами технологического развития региона остаются Япония и Республика Корея, Китай продолжает наращивать не только экономический, но и социальный, а также научно-технологический капитал своего перспективного лидерства.

В политическом и экономическом плане система международных отношений вступила в новую стадию своего развития, которая характеризуется значительной интенсификацией конкуренции как между государствами, так и между ведущими транснациональными компаниями. При этом глобальная взаимозависимость также продолжает усиливаться, и не только между лидерами первого этапа глобализации, но и между ними и новыми глобальными экономическими игроками. Системный характер носит глубокая взаимозависимость между двумя ведущими экономиками мира — США и КНР. Объем двусторонней торговли товарами и услугами, несмотря на обострение политических дебатов о торговой и тарифной политике, достиг по итогам 2017 г. 710 млрд долл. (без учёта 69 млрд долл. торговли между США и Гонконгом), показав устойчивый рост (в 2016 г. объём торговли составил 648,5 млрд долл.) при сохраняющемся значительном торговом дефиците в пользу Китая (334,5 млрд долл.) [1]. Кроме того, США и КНР накоплены значительные объёмы взаимных прямых иностранных инвестиций (ПИИ), осуществляемых как напрямую, так и через третьи страны. Американские накопленные ПИИ в китайскую экономику достигли в 2017 г. 107,6 млрд долл., продемонстрировав рост за год свыше 10%, и ещё 81,2 млрд долл. было инвестировано в экономику Гонконга. Китайские ПИИ в экономику США за тот же период немного снизились, составив 39,5 млрд долл. (не считая 11 млрд инвестиций Гонконга и очень трудно подсчитываемых ПИИ китайских компаний, осуществлявшихся через оффшоры) [1]. Огромные китайские активы работают на финансовом рынке США, растёт и уровень американского присутствия на развивающемся китайском финансовом рынке. Аналогичные тенденции фиксируются в развитии отношений между КНР и ЕС. Несмотря на некоторое снижение динамики и объёмов

торгового и финансового взаимодействия между Россией и ЕС на фоне последствий политического конфликта и введения санкций и других ограничительных мер, в отношениях между ними также сформировались глубокие взаимосвязи.

Усиление финансово-экономической взаимозависимости и рост взаимосвязей в социальной, коммуникационной и технологической сферах позволяют утверждать, что процессы глобализации отнюдь не приостановились, несмотря на учащающиеся попытки США и других государств опираться на протекционистские меры. Однако тенденции роста международной конкуренции, проявившиеся после финансово-экономического кризиса 2008—2011 гг. и наиболее явно обозначившиеся в 2014—2017 гг., во всё большей степени затрагивают не только экономику, но и политику, а также военную сферу. Более того, расширение практики применения санкций и других политико-силовых мер в финансово-экономической сфере показывает, что возрастают соблазны использования связей, сформировавшихся благодаря глобализации, в качестве средства воздействия в межгосударственной и корпоративной конкуренции.

Высокий уровень взаимозависимости в мировой экономике, с одной стороны, расширяет возможности использования её в качестве оружия через оказание влияния на наиболее чувствительные и зависимые от внешних факторов и рынков отрасли экономики любой страны, а с другой стороны, открывает значительные возможности для обхода санкций и других ограничений, диверсификации и адаптации рынков. Использование США и их союзниками санкций и других политических мотивированных мер в отношении России даёт целый ряд примеров проявления обеих этих тенденций.

Наряду с традиционными показателями (объём ВВП, размеры вооружённых сил и оборонных расходов) важными критериями оценки конкурентоспособности государств в формирующемся полицентричном миропорядке становятся такие "факторы силы", как:

- *финансово-экономическая мощь*, определяемая уровнем развития промышленного производства, объёмами торговли и прямых иностранных инвестиций (привлечённых и экспортируемых), размерами и состоянием фондового рынка, динамикой развития инноваций;

- *социальный капитал*, определяемый демографической ситуацией, состоянием трудовых ресурсов, качеством образования и его доступностью, уровнем развития системы здравоохранения и социального обеспечения;

- *научно-технологический потенциал*, определяемый уровнем финансирования фундаментальной науки, количеством и качеством трудовых ре-

сурсов научной сферы, состоянием научной инфраструктуры и материально-технической базы научно-образовательных учреждений, динамикой развития рынков высокотехнологических товаров и услуг, состоянием инновационной среды.

Расширяется практика использования не только финансово-экономических рычагов, но и научно-технологического инструментария (доступа к инновациям, технологиям, научным знаниям), идеологических и информационных ресурсов в качестве средств межгосударственной конкуренции. При этом они не только дополняют военные и политико-дипломатические инструменты, но зачастую применяются в соответствии с логикой и принципами, с которыми применяются силовые меры.

На первый план среди современных невоенных угроз безопасности выходят имеющие трансграничную природу новые вызовы, которые не заменяют собой традиционные вызовы и угрозы, связанные с межгосударственным противоборством, но дополняют и усиливают их. Прежде всего речь идёт о международном терроризме, стремящемся обрести территориально-административные формы, религиозно-идеологическом экстремизме, распространении оружия массового уничтожения и средств его доставки, неконтролируемом трафике оружия, нелегальной миграции, незаконном обороте наркотиков, коррупции и транснациональной преступности. Эти опасности усиливаются демографическими проблемами, глобальной бедностью и голодом, а также растущим в ряде регионов дефицитом питьевой воды. Достаточно часто транснациональные вызовы и угрозы превращаются в средства политического, психологического и экономического давления, с помощью которого некоторые государства влияют на развитие отдельных стран и целых регионов.

Активно разрабатываются и всё более широко применяются средства ведения "гибридной войны" — метода силового столкновения без прямого широкомасштабного боевого контакта вооружённых сил, но с массированным использованием сил специального назначения, скрытых операций, диверсий, информационно-пропагандистских средств и кибератак, созданием и использованием локальных конфликтов у границ или на территории других государств. Невоенные угрозы также зачастую задействуются в практике такого противоборства. Существенным стимулом для этих процессов становится развитие рынка частных военных компаний, которые всё чаще заменяют собой официальные вооружённые силы государств или действуют вместе с ними, принимая на себя основные издержки и риски. Методы "гибридной войны" дополняются торгово-экономическими санкциями и другими ограничительными мера-

ми, нацеленными на причинение максимального ущерба противнику, а также дестабилизацию социально-политической обстановки.

Вызовы для национальной безопасности РФ в военной сфере. Не менее значимые изменения происходят и в военно-политической сфере. Главные вызовы и угрозы для национальной безопасности России в военной сфере на перспективу до 2030 г. и далее будут связаны с несколькими взаимосвязанными тенденциями. Первая из них — начавшаяся и набирающая обороты гонка вооружений на новой технологической основе, включая возвращение к активному соревнованию с США в области ядерных вооружений. Дальнейший рост значения военной силы и других силовых средств в межгосударственных отношениях и расширение практики их локального применения, в том числе в форме делегирования государствами соответствующих полномочий частным компаниям и негосударственным структурам, составляет суть второй тенденции.

Третья тенденция — интенсивное и целенаправленное размытие сформировавшихся в годы "холодной войны" норм в области контроля над вооружениями, в первую очередь ядерными стратегическими и нестратегическими наступательными и оборонительными системами. Договорённости в этой сфере между СССР/Россией и США сохраняли своё значение некоторое время после завершения советско-американской конфронтации и даже получили продолжение в серии договоров о мерах по дальнейшему сокращению и ограничению стратегических наступательных вооружений — СНВ-1 (1991), СНВ-2 (1993), заключённом в 2002 г., но не ратифицированном Договоре о сокращении стратегических наступательных потенциалов (СНП), а также действующем до 2021 г. СНВ-3 (2009). Однако одновременно, в том числе в связи с разрушением принципов и этики взаимодействия и конкуренции стран-лидеров в области вооружений, международные договорённости всё более утрачивали силу и влияние (подробнее об этике и психологии ядерного сдерживания и её развитии после "холодной войны" см. [2]).

Следует отметить, что в формирующемся полицентричном миропорядке гонка вооружений начинает набирать обороты уже не столько между США и Россией, которая не стремится стать её участником, хотя и уделяет внимание модернизации своего оборонного, в том числе ракетно-ядерного, потенциала. В неё активно включился Китай, который развивает инструментарий проецирования силы в Азиатско-Тихоокеанском регионе, прежде всего военно-морской флот и ВВС — основу для конкуренции с США, а также стратегические и нестратегические наступательные вооружения, включая основан-

ные на передовых технологиях (гиперзвуковые и ракетно-планирующие системы в ядерном и неядерном оснащении) [3]. Китай уделяет значительное внимание также высокоточным конвенциональным вооружениям, системам ПРО, ПВО, военно-космическим средствам слежения и наблюдения, а также ресурсам проведения экспедиционных операций [4]. Военный бюджет Китая, по данным Стокгольмского института исследований проблем мира, уже в 2017 г. достиг 228 млрд долл. (в 4 раза больше оборонного бюджета РФ), увеличившись вдвое за 10 лет. По итогам 2017 г., наряду с КНР в интенсивную военно-экономическую конкуренцию постепенно втягивается Индия (её военный бюджет превысил 63,9 млрд долл.), а также целый ряд региональных держав — Турция (19,5 млрд долл.), Саудовская Аравия (69,4 млрд долл.), Иран (14,5 млрд долл.), Япония (45,3 млрд долл.), Австралия (27,4 млрд долл.), Республика Корея (39,1 млрд долл.), Пакистан (10,7 млрд долл.) [5]. Согласно предварительной статистике 2018 г., все показатели этих и ряда других держав продолжают расти. Это объясняется началом нового этапа в технологическом развитии как ядерных, так и конвенциональных вооружений и военной техники, а также с очередным перераспределением сфер влияния в мире и обострением региональной конкуренции. Особенно остро эти тенденции проявляются в Тихоокеанской и Южной Азии, а также на Ближнем Востоке, где интересы ведущих держав всё в большей степени вступают в противоречие.

США стремятся сохранить на ближайшие десятилетия силовое, в том числе военное, превосходство над Россией и Китаем, а также возможности силового давления на региональных оппонентов и осуществления дистанционных военных операций в любой точке мира. Однако такая задача является новой для Вашингтона, поскольку одной из аксиом американской внешнеполитической и военной стратегии всегда было стремление избежать долгосрочного конфликта с двумя крупными державами одновременно. Между тем именно такая перспектива всё отчетливее вырисовывается для США в ближайшие 10–15 лет. Политика двойного сдерживания России и Китая может существенно трансформировать американское военное и внешнеполитическое планирование, в частности, она предполагает значительные финансовые и иные издержки.

Китай не может не учитывать обозначенные тенденции, но одновременно на китайское руководство и элиту оказывает существенное влияние стремление избежать разрыва финансово-экономических связей с США, губительного для национальной экономики. В то же время в десятилетней перспективе КНР рассчитывает обрести военный

потенциал, который позволил бы не только потеснить США с позиций регионального лидера в Тихоокеанской Азии, но и предотвратить вероятность морской блокады в случае открытого американо-китайского противостояния [6–8]. Даже кратковременное (на полгода-год) прерывание торгово-экономических связей со странами региона и с рынками китайских товаров за его пределами, а также источниками поставок энергоресурсов и других видов сырья может привести к катастрофическим последствиям для китайской экономики и снизить обороноспособность КНР. Китаю также необходимы военные средства, чтобы не позволить американским союзникам, которые могут действовать как вместе с Вашингтоном, так и самостоятельно, ограничивать китайское влияние в Северо-Восточной и Юго-Восточной Азии. Особенно значимыми для Пекина в этом отношении остаются ситуация на Корейском полуострове и ситуация в районе Южно-Китайского моря. Кроме того, по мере реализации стратегии экономического "пояса и пути", возрастает заинтересованность политической и экономической элиты КНР в том, чтобы иметь возможность защищать интересы китайского бизнеса в любой точке мира с помощью военных средств. Потери китайскими компаниями значительных активов в Ливии, а потенциально и в Венесуэле, и риски для безопасности китайских граждан — тяжёлый урок для Пекина [9].

Рост военных расходов и военного потенциала Индии, а также развитие её военно-политического сотрудничества с США, Японией и Австралией — не только реакция на рост военного потенциала и политического влияния Китая, но и стремление обрести позиции одной из ведущих держав. Индийское руководство, политическая элита и экспертное сообщество открыто называют не только Пакистан, но и Китай в числе основных источников угроз национальной безопасности. Показательно, что, несмотря на намечившееся в 2018 г. улучшение политических отношений и дальнейшее усиление индо-китайских экономических связей, индийская ракетно-ядерная программа, которая вышла на новые рубежи своего развития в связи с успешными испытаниями стратегического носителя Агни-5, откровенно нацелена на одновременное сдерживание Пакистана и Китая [10, 11].

На глобальном уровне активно идёт развитие новых ядерных вооружений, способных изменить баланс военных сил, но не включённых в уравнение стратегической стабильности, которое по-прежнему остаётся российско-американским. При этом сама стратегическая стабильность как военно-политическое и идейно-психологическое явление, возникшее в годы "холодной

войны", стремительно размывается. Факторов её распада становится всё больше — неядерное высокоточное оружие, ракетно-планирующие и гиперзвуковые системы в ядерном и неядерном оснащении, новые виды вооружений межконтинентальной дальности, в том числе неядерные (такие как американская программа "Быстрый глобальный удар"), противоспутниковые системы, кибервооружения, системы ПРО и РЭБ, средства раннего предупреждения. Отметим, что наращивание технологических возможностей США, КНР и России в области опосредованного и асимметричного воздействия на традиционный инструментарий поддержания стратегической стабильности всё активнее захватывает сферу кибербезопасности. В "Обзоре ядерной политики США", принятом в начале 2018 г., кибератаки включены в перечень оснований для применения ядерного оружия, и самой этой теме в документе уделяется особое внимание [12, р. 57].

Главные параметры динамики глобальной военно-экономической и военно-технологической конкуренции определяются не только и не столько появлением новых видов вооружений и военной техники, сколько трансформацией модели взаимодействия государств-лидеров и увеличением их числа. Не без целенаправленных усилий США была демонтирована система соглашений, регулировавших отношения ведущих держав в этой сфере. Первые десятилетия после окончания "холодной войны" эта система развивалась по инерционной схеме. Затем в 2002 г. был ликвидирован Договор об ограничении систем противоракетной обороны 1972 г. В 2018 г. США приняли решения о выходе из Договора о ликвидации ракет средней и меньшей дальности (ДРСМД) 1987 г. (Сегодня у России и США нет ракет средней и меньшей дальности, ими обладают только КНР, Великобритания, Франции, Индия, Пакистан, Иран, КНДР и Израиль, однако потенциально список таких стран может расширяться уже в среднесрочной перспективе.) Под угрозой находится возможность продления в 2021 г. на 5 лет заключённого в 2009 г. между Россией и США СНВ-3, и на среднесрочную перспективу не просматривается возможность его замены новым российско-американским соглашением. За пределами всех соглашений находятся новые виды средств доставки, способные нести ядерное оружие (ракетно-планирующие системы, крылатые ракеты дальнего радиуса действия, воздушные и подводные дроны и др.), а также влияющие на стратегическую стабильность конвенциональные вооружения (высокоточные, гиперзвуковые и др.).

Возникают риски развёртывания ударных вооружений в космосе. Договор о принципах дея-

тельности государств по исследованию и использованию космического пространства, включая Луну и другие небесные тела, принятый в 1967 г., ограничивает размещение в космическом пространстве ядерных вооружений и других видов оружия массового уничтожения, но он не распространяется на ударные системы в неядерном оснащении [13]. В 2004 г. Россия заявила об одностороннем отказе размещать вооружения в космосе, её поддержал Китай, но США не выражают готовности обсуждать эту тематику.

После 2021 г. поддержание стратегической стабильности вступит в стадию ещё большей неопределённости. С высокой вероятностью сохранится только одна её составляющая — взаимное гарантированное уничтожение между Россией и США, которое действует как военный и политико-психологический механизм. Одновременно углубятся тенденции к развитию полицентричности системы ядерного сдерживания и укреплению наступательных потенциалов её участников. Возрастает вероятность перехода системы отношений между ведущими державами в военно-стратегической сфере к моделям развития, основанным преимущественно на неформальных договорённостях и односторонних обязательствах при высокой вероятности их нарушения и возникновения кризисных ситуаций. Наибольший потенциал для этого имеется в отношениях между Индией и Пакистаном, КНДР и США, но не только между ними.

Перспективная задача США — осуществить модернизацию своего стратегического наступательного потенциала, обновить все компоненты ядерной триады, минимизировать ограничения для разработки и развёртывания нестратегических наступательных вооружений, в том числе наземного базирования, а также ядерных боезарядов малой мощности и оборонительных систем (ПРО), спутниковых систем. Для реализации такой широкомасштабной программы правительство США нуждается в ослаблении ограничений в области контроля над вооружениями и в оправдании перед обществом и Конгрессом США дальнейшего значительного роста военного бюджета страны. Российская и китайская "военные угрозы" подходят для решения последней задачи как нельзя лучше.

При модернизации стратегических наступательных вооружений США будут исходить из состояния и возможностей боевого применения стратегических наступательных систем России и КНР и не заинтересованы в количественном сокращении носителей и боезарядов. Выход США из ДРСМД позволит дополнить арсенал имеющихся баллистических и крылатых ракет морского и воздушного размещения новыми моделями

обоих классов наземного базирования. Возникнут возможности размещения ракет средней дальности, в первую очередь в Азиатско-Тихоокеанском регионе — на территориях Австралии, Японии, с меньшей вероятностью — Республики Корея, в качестве противовеса потенциалу КНР, более 50% которого приходится на ракеты средней и меньшей дальности, и КНДР.

Одновременно США могут попытаться развернуть такие ракеты в Европе — как средство сдерживания России и усиления военно-политического политического давления на Иран. Ответные меры со стороны России, которые будут зеркальными, позволят США оправдать реализацию любой программы развития ПРО в Европе, а также убедить европейских союзников увеличить военные расходы. Такой сценарий развития событий на долгосрочную перспективу не только положит конец попыткам Москвы развивать диалог с западноевропейскими странами НАТО о создании новой архитектуры европейской безопасности, но и позволит США создать дополнительные барьеры на пути развития политических и экономических связей между Россией и ЕС, в том числе и в энергетической сфере.

В среднесрочной перспективе США по технологическим и финансовым причинам не смогут реализовать проект глобальной стратегической ПРО и всерьёз ограничить возможности стратегических ядерных сил России. Поэтому приоритет Вашингтона — существенное наращивание потенциала оборонительных систем нестратегического характера, ориентированных не только на перехват баллистических, но и крылатых ракет, и их перспективная оптимизация для перехвата отдельных стратегических целей баллистического характера. Это обстоятельство сужает поле для диалога. И если в 2009—2016 гг. США настойчиво заявляли, что ракетные комплексы в Европе направлены против "иранской угрозы", а в Азиатско-Тихоокеанском регионе — против угрозы для США и их союзников со стороны КНДР, то сегодня уже никто не отрицает, что следующий этап развития систем ПРО США в Европе и в Азиатско-Тихоокеанском регионе нацелен на противодействие российской и китайской угрозам. Опубликованный в начале 2019 г. "Обзор противоракетной обороны", определяющий приоритеты США в этой сфере на ближайшие годы, ставит целью развитие нестратегических систем ПРО, перехватывающих ракеты средней и меньшей дальности. Он предполагает развёртывание этих систем в первую очередь на европейском и тихоокеанском театрах, а также наращивание сопутствующих космических средств [14]. Такой подход тесно увязан с решением США о выходе из ДРСМД. Стремление России создать собственные системы ПРО в рамках раз-

вития Воздушно-космических сил и улучшить их тактико-технические характеристики будет фактором, повышающим вероятность диалога с США по этому вопросу, однако многое будет зависеть от развития ситуации на других направлениях и политического климата в отношениях между двумя странами.

Большинство угроз для безопасности России в военной и невоенной сферах дополняют друг друга, они системно взаимосвязаны. Их развитие и обусловленные ими риски нужно анализировать и прогнозировать в комплексе — многие из них связаны с проблемами экономического и научно-технологического развития. Всё это требует пересмотра приоритетов в области подготовки гражданских и военных специалистов в военно-политической сфере, выработки новой тематики исследований в области гуманитарных и общественных наук, связанных с изучением проблем военной и невоенной безопасности, а также стратегической стабильности и контроля над вооружениями. Здесь требуется новый синтез военных и гражданских исследований в области прогнозирования развития военных технологий, вооружения и военной техники, с изучением проблем международных отношений и безопасности, военной экономики и смежных гражданских секторов, а также политической психологии и международного права. Российская академия наук могла бы сыграть организующую и координирующую роль в развитии таких направлений исследований и подготовки кадров.

ЛИТЕРАТУРА

1. U.S.-China Trade Facts. US Trade Representative Office. <https://ustr.gov/countries-regions/china-mongolia-taiwan/peoples-republic-china> (дата обращения 12.02.2019).
2. Косолапов Н.А., Андреева Т.Н. Ядерное сдерживание в условиях глобализации (политико-психологические аспекты проблемы) // *Философские науки*. 2005. № 7—11.
3. Богданов К.В. Ядерные силы КНР и контроль над вооружениями // *Безопасность и контроль над вооружениями 2017—2018. Преодоление разбалансировки международной стабильности* / Отв. ред. А.Г. Арбатов, Н.И. Бубнова. М.: ИМЭМО РАН, РОСПЭН, 2018. С. 73—84.
4. Кашин В. Перерыв подходит к концу? Военная стратегия Китая на современном этапе // *Россия в глобальной политике*. 2018. № 6. С. 16—22.
5. SIPRI Database of Military expenditures by country 2009—2017. <https://www.sipri.org/databases/milex> (дата обращения 12.02.2019).
6. Collins G. A Maritime Oil Blockade Against China — Tactically Tempting but Strategically Flawed // *Naval War*

- College Review. V. 71. № 2. <https://digital-commons.usnwc.edu/nwc-review/vol71/iss2/6> (дата обращения 12.02.2019).
7. Farley R. Could the US Navy Blockade China in War-time? // The Diplomat. May. 2018. <https://thediplomat.com/2018/05/could-the-us-navy-blockade-china-in-wartime/> (дата обращения 12.02.2019).
8. Mirski S. Blockade: The Ultimate Way to Win a War Against China? // The National Interest. 2018. July 30. <https://nationalinterest.org/blog/buzz/blockade-ultimate-way-win-war-against-china-27222? page=0%2C1> (дата обращения 12.02.2019).
9. Кашин В. Венесуэльский кризис и китайская империя // Профиль. 2019. 29 января. <https://profile.ru/columnist/venesuelskij-krizis-i-kitajskaya-imperiya-65617/> (дата обращения 12.02.2019).
10. Jha S. Successful Pre-induction Trial of India's Agni-V Intercontinental Ballistic Missile Takes It Closer To Deployment // Indian Defense Review. 2018. January 18. <http://delhidefencereview.com/2018/01/18/successful-pre-induction-trial-of-indias-agni-v-intercontinental-ballistic-missile-takes-it-closer-to-deployment/> (дата обращения 12.02.2019).
11. India's most potent missile Agni-V to be inducted soon // The Economic Times. 2018. July, 1. http://economictimes.indiatimes.com/articleshow/6481415.cms?utm_source=contentofinterest&utm_medium=text&utm_campaign=cppst (дата обращения 12.02.2019).
12. Nuclear Posture Review – 2018. DOD of the US. Office of the Secretary of Defense. <https://media.defense.gov/2018/Feb/02/2001872886/-1/-1/1/2018-NUCLEAR-POSTURE-REVIEW-FINAL-REPORT.PDF> (дата обращения 12.02.2019).
13. Договор о принципах деятельности государств по исследованию и использованию космического пространства, включая Луну и другие небесные тела. Принят резолюцией 2222 (XXI) Генеральной Ассамблеи от 19 декабря 1966 года. http://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/outer_space_governing.shtml (дата обращения 12.02.2019).
14. Missile Defense Review. DOD of the US. Office of the Secretary of Defense. https://www.defense.gov/Portals/1/Interactive/2018/11-2019-Missile-Defense-Review/The%202019%20MDR_Executive%20Summary.pdf (дата обращения 12.02.2019).

DEEP CHANGES IN EXTERNAL ENVIRONMENT AFFECTING RUSSIA'S NATIONAL SECURITY

© 2019 F.G. Voitolovsky

Primakov National Institute of World Economy and International Relations of RAS, Moscow, Russia

E-mail: seadog@imemo.ru

Received: 11.12.2019

Revised version received: 12.02.2019

Accepted: 18.02.2019

The article is focused on international economic, political, and military factors and how they affect Russian national security. The analysis deals with the present and emerging ambivalence in global trends like growing economic interdependence and escalating interstate competitiveness. The key issue lies in how these trends are expressed in relations among traditional and emerging powers that are taking on new roles in the global order. Special attention is paid to processes related to the disintegration of the arms-control system and the related deterioration of the global and regional military-political situation, particularly in Europe and the Asia-Pacific region. The main risks to the national security of Russia associated with these changes are identified.

Keywords: world order, national security, the US, NATO, China, Russian-American relations, US–China relations, strategic stability, arms control, foreign policy risks, strategic offensive weapons, regional conflicts.

ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ИЗМЕРЕНИЕ КЛИМАТИЧЕСКОГО ВЫЗОВА УСТОЙЧИВОМУ РАЗВИТИЮ РОССИИ¹

© 2019 г. Б.Н. Порфирьев

Институт народнохозяйственного прогнозирования РАН, Москва, Россия

E-mail: b_porfiriev@mail.ru

Поступила в редакцию 18.12.2018 г.

Поступила после доработки 18.12.2018 г.

Принята к публикации 28.01.2019 г.

В статье рассматриваются проблемы, связанные с выбором эффективного ответа на климатический вызов устойчивому развитию России. Дается критический анализ парадигмы низкоуглеродной экономики с точки зрения решения задач стабилизации климатической ситуации (по критерию превышения двухградусного роста глобальной температуры воздуха до конца XXI в.), улучшения качества жизни и устойчивого роста экономики. Обосновывается, что эффективная стратегия действий по снижению климатических рисков социально-экономического развития предусматривает реализацию нескольких взаимосвязанных групп институциональных, экономических и технологических мер. При этом приоритетами выступают: стимулирование экономического роста на основе повышения эффективности производства с использованием наилучших доступных технологий ресурсопользования; снижение вредного воздействия хозяйственной деятельности на здоровье населения и окружающую среду (прежде всего выбросов вредных и опасных загрязняющих веществ, в том числе содержащих углерод, в атмосферу); адаптация и защита здоровья людей и экосистем от указанного воздействия и его последствий, включая изменения климата; смягчение накопленных эффектов и снижение текущего и будущего техногенного воздействия на климатообразующие факторы окружающей среды.

Ключевые слова: изменения климата, низкоуглеродное развитие, эффективная стратегия действий, адаптация, экономический рост, наилучшие доступные технологии.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-5873894400-407>

Глобальный характер и значимость проблемы климатических изменений и их последствий для долгосрочного устойчивого социально-экономического развития общества дают все основания для отнесения её к категории так называемых больших вызовов, поиск эффективного ответа на которые определён Стратегией научно-технологического развития Российской Федерации в качестве одного из приоритетных направлений на ближайшие 10–15 лет [1]. Поскольку "эффективность" — экономическая категория, комплексное исследование путей решения указанной сложной задачи предполагает активное участие экономической науки, использование её критериев и инструментария. Это, в свою очередь, во-первых, требует определения места проблемы климатических изменений и их последствий в ряду других глобальных вызовов с учётом специфики стран и регионов мира, включая Россию, и выяснения значимости климатических изменений

для экономики и национальной безопасности (что можно образно охарактеризовать как выяснение цены вопроса). Во-вторых, нужно с учётом того места в ряду приоритетов развития общества, которое занимают климатические риски социально-экономического развития, оценить возможности национальной экономики (финансовые, научно-технологические, кадровые) по их снижению (определение цены ответа на основе критерия затраты—риски—результаты).

АКТУАЛЬНОСТЬ ЭКОНОМИЧЕСКОГО ИЗМЕРЕНИЯ КЛИМАТИЧЕСКОЙ ПРОБЛЕМЫ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЕЁ РЕШЕНИЯ В РАМКАХ СТРАТЕГИИ НИЗКОУГЛЕРОДНОГО РАЗВИТИЯ

Повышенный интерес к экономическому измерению проблемы глобальных климатических изменений обусловлен тем, что, несмотря

ПОРФИРЬЕВ Борис Николаевич — академик РАН, директор и заведующий лабораторией анализа и прогнозирования природных и техногенных рисков экономики ИМП РАН.

¹ Полная и обновлённая версия данного доклада публикуется в журнале "Проблемы прогнозирования" (2019. № 2, 3).

на поддержку большинством государств мира целей Парижского соглашения по климату, все крупные развитые экономики далеки от их реализации. Речь идёт не только о США, нынешнее правительство которых официально отказалось от выполнения указанного соглашения (вследствие чего темпы сокращения техногенных выбросов парниковых газов в США, по оценкам на июнь 2018 г., вдвое отставали от обязательств, принятых прежней администрацией). В 2015–2017 гг., в отличие от предшествующих лет, мировые выбросы CO_2 не снижались, в 2017 г. они, наоборот, увеличились на 1,5% (по сравнению с предыдущим годом). Свой вклад в этот процесс внесли не только "угольные" Китай и Индия, но и "зелёная" Европа, в том числе страны, объявившие борьбу с климатическими изменениями национальным приоритетом (Германия, Франция), а также Австралия, Канада и Япония, смягчившие в последнее время свою позицию по данному вопросу. Что касается выбросов CO_2 в секторе энергетики — основного источника его эмиссий, они росли практически постоянно с 2000 г. (исключая кризисный 2009 г.), стабилизировались в 2014–2016 гг. и вновь увеличившись в 2017 г. В 2018 г., по прогнозам, ожидается рост эмиссий ещё на 2,7% — максимальный показатель за последние 7 лет, прежде всего в связи с замедлением в США темпов замещения угольной генерации газовой [2, р. 7; 3].

Многие мировые и отечественные политики и эксперты, своего рода "климатический мейнстрим", связывают обозначенные тенденции не только и даже не столько со значительными издержками и технологическими трудностями перехода к низкоуглеродному развитию, которые действительно велики. Едва ли не бóльшую роль, по их мнению, играют недостаточная осведомлённость (в том числе из-за сокрытия негативной информации, прежде всего энергетическими компаниями) и связанная с ней самоуспокоенность значительной части населения в отношении опасных последствий изменения климата. Главной же причиной называют оппортунистическое поведение ряда государств и упомянутых компаний, которые исключительно в собственных интересах наращивают производство и потребление углеводородов, включая уголь — главный источник техногенных выбросов парниковых газов. Это и тормозит становление *низкоуглеродной экономики*, которая рассматривается климатическим мейнстримом как ключ к решению климатической проблемы. Неслучайно другое название этой будущей экономики — "новая климатическая экономика".

Парадигма низкоуглеродной экономики исходит из сугубо антропогенного генезиса проблемы климатических изменений, в первую очередь глобального потепления, последствия которого считаются главной угрозой безопасности населения и экономики в обозримом будущем. В качестве стратегического решения предлагается борьба или война (и это не фигура речи, а терминология официальных международных документов) с изменениями климата, а в качестве способа реализации этого решения — переход в середине текущего века к новой климатической экономике. Под *новой климатической экономикой* понимается набор действий и технологий, направленных на максимальное сокращение выпуска и импорта продукции и услуг, производство которых связано с использованием ископаемого топлива и, соответственно, значительными выбросами углерода (отсюда и термин "низкоуглеродная экономика"). Экономический механизм, обеспечивающий реализацию этих действий, — введение цены на упомянутые выбросы, прежде всего в виде так называемого углеродного налога, ключевой индикатор результативности — максимальное снижение абсолютных объёмов техногенных выбросов парниковых газов. Главным критерием эффективности предлагаемого стратегического решения проблемы климатических изменений считается стабилизация климата — не превышение (по сравнению с доиндустриальной эпохой) к концу текущего века роста глобальной температуры на 1,5°C, как это определено новым докладом МГЭИК-2018 [4]. Заметим, что до сих в качестве порогового рассматривалось значение в 2°C, которое было положено нобелевским лауреатом по экономике 2018 г. У. Нордхаусом в основу экономико-климатической модели и проводимых по ней расчётов [5].

Об эффективности предлагаемого "климатическим мейнстримом" решения можно судить, ответив на два принципиальных вопроса: обеспечивает ли переход к низкоуглеродной экономике "стабилизацию" климата и обеспечивает ли "стабилизация" климата минимизацию риска для качества жизни, прежде всего здоровья, и уровня жизни людей и устойчивого роста экономики? В обоих случаях ответы отрицательные.

Согласно расчётам экспертов Программы ООН по окружающей среде (ЮНЕП), даже полное выполнение всеми странами взятых на себя обязательств в рамках Парижского соглашения по сокращению эмиссии парниковых газов обеспечит лишь 1/3 объёма сокращений, необходимых для не превышения в 2100 г. вышеупомянутого показателя 2°C и всего 1/5 объёма таких сокращений — для не превышения 1,5°C [2, 6, 7].

Поэтому помимо сокращения выбросов, на котором концентрируется парадигма низкоуглеродной экономики, по крайней мере, не менее необходимы, как справедливо подчёркивается в Парижском соглашении, адаптация экономики к климатическим изменениям и поглощение из атмосферы уже накопленного там CO_2 (в первую очередь лесами). Расчёты Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) показывают, что до конца нынешнего века потребуется извлечь из атмосферы 810 млрд т CO_2 , то есть в среднем нужно извлекать примерно 10 млрд т ежегодно [4, 8]. При этом ограниченность выбора и дороговизна имеющихся технологий извлечения CO_2 из атмосферы существенно ограничивают эффективность их применения и отодвигают перспективу достижения двухградусного порога за пределы нынешнего столетия, не говоря уже о полутороградусной отметке, достижение которой, по некоторым оценкам, обойдётся мировой экономике в 1,5 раза дороже.

Что касается второго вопроса, решение проблемы климатических изменений оказывается необходимым прежде всего в долгосрочной перспективе, но далеко не достаточным и не главным условием минимизации риска для качества и уровня жизни людей и устойчивого роста экономики. Даже в структуре экологических рисков, к группе которых относятся изменения климата и их последствия, они не являются приоритетными для качества и уровня жизни людей, в частности, если судить по такому важному критерию, как ущерб здоровью. Значительно большую угрозу представляет загрязнённый воздух, которым дышат 95% мирового населения, то есть практически столько же людей, сколько испытывают воздействие климатических изменений. Наши оценки показывают, что в 2010 г. глобальный экономический ущерб от загрязнения воздуха вредными веществами (прежде всего тем же углеродом в виде взвешенных частиц $\text{PM}_{2.5}$) на порядок превышал таковой от последствий изменений климата (примерно 5% против 0,5% мирового ВВП соответственно). Ещё разительнее контраст социальных потерь: в мире загрязнение атмосферного воздуха (исключая воздух внутри помещений) становится причиной преждевременной смерти около 6 млн человек в среднем в год, тогда как в результате гидрометеорологических и климатических чрезвычайных ситуаций в среднем в год погибает менее 28 тыс. (разница в 200 с лишним раз!). Примерно такие же соотношения характерны и для крупных экономик мира, включая российскую (оценки автора по: [9, р. 12, 31; 10, р. 21; 11–13]).

В более широком плане климатические изменения и связанные с ними последствия — только часть общей картины рисков для жизни и здоровья людей и роста экономики. Это доказывают принятые мировым сообществом цели устойчивого развития, которые, помимо мер по борьбе с изменениями климата и его последствиями, включают ещё 16 глобальных целей, охватывающих все составляющие (экономическую, социальную и экологическую) устойчивого развития. Среди них такие общемировые ценности, как ликвидация бедности и голода, обеспечение здорового образа жизни, качественного образования, свободного доступа к источникам энергии, снижение уровня неравенства (гендерного, внутри стран и между ними), содействие неуклонному, всеохватному и устойчивому экономическому росту, полной и производительной занятости и достойной работы для всех. Поэтому постановка задачи "стабилизации" климата не может считаться корректной, а её решение — реалистичным и эффективным в отрыве от более приоритетных целей устойчивого развития. Эти цели — минимизация голода, бедности, болезней, доступность чистой воды и т. д. Они, во-первых, превосходят указанную задачу по значимости, по крайней мере, в обозримой перспективе, что чётко зафиксировано в Парижском соглашении, согласно которому решение проблемы изменений климата и их последствий осуществляется *"в контексте обеспечения устойчивого развития и усилий по искоренению нищеты"* (курсив мой. — Б.П.) [14, с. 25]. Во-вторых, достижение целей устойчивого развития выступает необходимым условием и/или обеспечивает ресурсы для решения проблемы климатических изменений, как, впрочем, и других проблем развития, прежде всего экономического роста.

КОНТУРЫ ЭФФЕКТИВНОЙ СТРАТЕГИИ СНИЖЕНИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ РИСКОВ УСТОЙЧИВОГО СОЦИАЛЬНО- ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ РОССИИ

Итак, эффективная стратегия снижения климатических рисков не должна ставить задачу "стабилизации" климата, не говоря уже о войне с изменениями климата, в качестве приоритетной цели развития, полагая производными от неё другие цели глобального и национального развития, которые должны как бы подкреплять её достижение. Такой подход, характерный для концепции новой климатической экономики и доклада МГЭИК-2018, ставит во главу угла непревышение полутороградусного уровня глобального потепления до конца текущего столетия, превращая его в целевую функцию, задающую остальные пара-

метры развития экономики, прежде всего её энергетического сектора, включая электроэнергетику, в структуре которой к 2050 г. применительно к миру в целом предусматривается увеличить долю возобновляемых источников (ВИЭ) до 70%, снизить удельный вес природного газа до 11%, угля — до 1,5% [4].

Согласно расчётам, выполненным сотрудниками Института народнохозяйственного прогнозирования (ИНП) РАН, при реализации такого сценария в России в период 2017–2050 гг. по сравнению с базовым сценарием экономического развития среднегодовые темпы прироста ВВП снизятся на 0,4 п.п., а при частичной компенсации за счёт роста вклада возобновляемых источников и электромобилей — на 0,26 п.п. Тем самым к 2050 г. страна недосчитается 8% ВВП. При менее жёстком сценарии — доля низкоуглеродных энергоресурсов (ВИЭ и атомная энергия) — 70%, угля — 4%, природного газа — 24%; электромобилей — 50% от легкового парка (в сфере грузового транспорта сохраняется доминирование нефтепродукта) — на том же временном горизонте показатели составят 0,2 п.п. и 0,13 п.п. соответственно, недополучение суммарного ВВП к 2050 г. — 5%. Оба сценария вряд ли приемлемы для России, особенно учитывая нынешние и ожидаемые в ближайшем будущем низкие темпы экономического роста.

Эффективная политика в отношении проблемы изменений климата и их последствий, как следует из сказанного в предыдущем разделе, подразумевает, во-первых, интеграцию адаптации населения и экономики к изменениям климата и их последствиям, смягчение накопленных эффектов и снижение текущего и будущего техногенного воздействия на климатообразующие факторы окружающей среды (атмосферу, гидросферу, биоту) для обеспечения условий сохранения (улучшения) качества и уровня жизни людей. Именно такая установка содержится в Парижском соглашении, которое уравнивает значимость адаптации и снижения техногенных выбросов CO₂ и обязывает государства разрабатывать и исполнять национальные планы адаптации. Она приобретает особую важность в условиях сохраняющейся недооценки этой составляющей политики, а также того, что даже максимальное снижение техногенных выбросов и поглощение уже накопленных в атмосфере объёмов CO₂ не обеспечивает и в принципе не может обеспечить гарантии защиты от последствий изменений климата в виде опасных природных явлений и бедствий. Природная (естественная) изменчивость климата сохраняется в любом случае, обуславливая необходимость адаптации.

Во-вторых, эффективная политика предполагает встраивание (интеграцию) решения проблемы изменений климата и их последствий в политику устойчивого развития, приоритеты которой соответствуют обоснованным ООН 17 глобальным целям устойчивого развития. В структуре этих целей контроль климатических изменений и их последствий занимает далеко не первое место, причины чего понятны, учитывая существенно большую неопределённость последствий изменений климата для здоровья населения и экономики, что существенно увеличивает риски и ограничивает интерес инвесторов и других экономических субъектов к проектам и действиям по смягчению этих последствий. Более актуальными, а потому приоритетными деловому сообществу и населению видятся иные проблемы национальной безопасности и социально-экономического развития. Если говорить о проблемах, относящихся, как и климатические, к экологическому блоку, то это проблемы чистой воды и воздуха, промышленных и коммунальных отходов и др.

Как было показано выше, ставка практически ва-банк на скорейший переход к низкоуглеродной экономике и сокращение техногенных выбросов CO₂ как на основной инструмент снижения стратегических рисков социально-экономического развития лишь тормозит решение проблемы климатических изменений и их последствий. При этом отодвигаются в тень не только меры адаптации, но и, главное, другие цели устойчивого развития, в том числе устойчивый экономический рост, являющийся генератором средств для решения различных задач развития, включая проблемы снижения техногенных выбросов CO₂. Как не может быть цифровой экономики без экономики, так и трудно вообразим ускоренный переход к низкоуглеродной или новой климатической экономике без экономического роста. Необходимо изменить диспозицию в рамках стратегии устойчивого развития, выдвинув в авангард приоритетные цели социально-экономической политики и встроив в процесс и механизм их достижения комплекс мер по решению проблемы изменений климата, который включает две взаимосвязанные группы (или их комбинации) институциональных, экономических и технологических мероприятий.

Группа стимулирующих мер призвана способствовать экономическому росту путём повышения эффективности производства, что достигается благодаря использованию наилучших доступных технологий ресурсопользования. Ускорение экономического роста — единственный источник увеличения доходов, без которого невозможны

достижение национальных целей России и решение любых задач, включая климатические проблемы. Данная группа мер должна обеспечить экономический рост при условии ограничения совокупных издержек производства, что подразумевает эффективное использование трудовых, природных и материально-технических ресурсов. Эффективное природопользование, в свою очередь, означает снижение негативного воздействия на окружающую среду, в частности техногенных эмиссий в атмосферу, что не только способствует сохранению качества воздуха, но и сокращению выбросов CO_2 .

Группа ограничительных и защитных мер ориентирована, во-первых, на уменьшение рисков вредного (опасного) воздействия хозяйственной деятельности на окружающую среду и население (прежде всего выбросов загрязняющих веществ, среди которых есть и вещества, содержащие углерод, в атмосферу), а во-вторых, на адаптацию и защиту здоровья людей и экосистем от указанного воздействия и его последствий, в том числе изменения климата. Актуальность этой группы мер обусловлена их целевой направленностью на решение экологических проблем и прямой связью с решением климатической проблемы.

Особого внимания заслуживают институциональные меры, относящиеся к первой из рассмотренных групп. Они способствуют структурно-технологическим изменениям и модернизации российской экономики, обеспечивающим переход к более эффективным, экологичным и в то же время менее углеродоёмким видам топлива (переход с угля на природный газ), а также атомную и возобновляемую энергетику, снижение доли дизельного топлива и рост удельного веса газомоторного топлива и гибридных двигателей, использующих высококачественный бензин и электричество. На макроэкономическом уровне роль такого стимула, очевидно, не могут выполнять показатели (нормативы) абсолютного сокращения техногенных эмиссий CO_2 или снижения их объёма в расчёте на единицу ВВП — *карбоноёмкость ВВП*, которые являются целевыми в модели низкоуглеродного развития. Напротив, стимулировать производителя на рост выпуска с учётом непревышения заданного норматива по указанным выбросам может обратный целевой показатель — производство ВВП в расчёте на единицу выбросов CO_2 , который статистики ОЭСР, использующие его уже длительное время, именуют *карбонопродуктивностью* (carbon productivity). С нашей точки зрения, предпочтительнее термин "*карбоноэффективность экономики*".

Категорию карбоноэффективности экономики, кроме того, было бы целесообразно использовать для принципиальной корректировки показателя национального вклада в снижение выбросов парниковых газов в рамках выполнения Парижского соглашения, пользуясь паузой в его ратификации Россией. Как известно, в ряде крупных развивающихся стран с более динамичной экономикой снижение выбросов CO_2 жёстко увязывается с темпами роста ВВП. Так, в Китае и Индии оно составляет 60–65% и 30–35% соответственно в расчёте на единицу ВВП к 2030 г. по сравнению с 2005 г. Таким образом, целевым показателем выступает снижение величины обратной карбоноэффективности — углеродоёмкости ВВП. Это вполне оправданно, учитывая, что для экономик указанных стран, в отличие от российской, в среднесрочной перспективе актуально не ускорение, а сохранение нынешних темпов роста, в 3,7–3,8 раза превышающих российский показатель.

В России национальный вклад в снижение выбросов парниковых газов определён через сокращение объёмов эмиссии CO_2 от уровня 1990 г. К 2030 г. это сокращение с учётом вклада лесов должно составить 70–75%. Согласно расчётам учёных ИНП РАН, при темпах роста ВВП, сопоставимых с темпами роста мировой экономики, объём указанных выбросов без учёта их поглощения лесами уже после 2025 г. начнёт превышать упомянутый 75%-ный рубеж [15]. Тем самым значительно повышается риск того, что Россия будет вынуждена следовать инерционному сценарию развития экономики, означающему сдерживание экономического роста со всеми вытекающими отсюда последствиями. При отсутствии динамики роста, тем более падения ВВП, значительное сокращение объёмов выбросов не обеспечивает экологической устойчивости, не говоря уже о серьёзном ухудшении качества и уровня жизни и состояния национальной экономики. Такой вывод позволяет сделать опыт экономического кризиса 1990-х годов, вылившегося в снижение карбоноэффективности российской экономики с 1,33 долл./кг CO_2 -экв. в 1990 г. до 1,18 долл./кг в 1998 г. [16, р. 33].

Среди ограничительных и защитных мер прежде всего выделяются жёсткие нормативы выбросов вредных для здоровья человека и экосистем веществ (включая содержащие углерод взвешенные частицы, представляющие главную опасность для здоровья и жизни людей) и не менее жёсткие меры контроля соблюдения указанных нормативов основными хозяйствующими субъектами. При этом экономически и экологически наиболее эффективной представляется концентрация

усилий на значительном сокращении (до нормативного минимума) выбросов *суперзагрязнителей* — особо вредных и опасных для здоровья человека и комфортности городской среды веществ, в том числе содержащих углерод. Такое название обусловлено их высокими канцерогенным (сажа или чёрный углерод) и токсичным (оксиды азота) эффектами воздействия, а также парниковым эффектом в расчёте на единицу выбросов (метан), на порядок и более превосходящим таковой от выбросов CO₂ (которые, в свою очередь, сохраняются в атмосфере в десятки, а то и сотни раз дольше сажи или метана).

Помимо выгод от купирования прямых угроз жизни и здоровью людей, приоритетная роль снижения выбросов суперзагрязнителей обусловлена тем, что, в отличие от проблемы эмиссий CO₂, необходимое условие эффективного решения которой — скоординированные усилия если не всего мирового сообщества, то, как минимум, стран "Большой двадцатки", сосредоточивающих более 4/5 таких эмиссий, сокращение до минимума выбросов суперзагрязнителей требует усилий национальных, прежде всего местных производителей и инвесторов, стимулировать и координировать деятельность которых значительно легче (хотя тоже непросто). Кроме того, эффект от такой деятельности намного лучше ощутим населением (более лёгкое дыхание и более прозрачный воздух) по сравнению с результатами сокращения выбросов CO₂. Это немаловажный фактор, облегчающий получение широкой общественной поддержки соответствующих мер. Ещё одно преимущество заключается в том, что указанный эффект реализуется с существенно меньшими затратами и уже в обозримой перспективе. Убедительное подтверждение тому — полный запрет во всех странах использования в автомобильном топливе свинца, который ещё недавно был одним из основных суперзагрязнителей воздуха в городах мира. Благодаря этому запрету количество преждевременных смертей сократилось на 1 млн человек в год, а выгоды для глобальной экономики оцениваются в 2,5 трлн долл. в год. Одновременно значительное снижение выбросов суперзагрязнителей существенно смягчает техногенное воздействие на факторы формирования климата и, соответственно, климатические риски, учитывая, что, по оценкам экспертов, вклад указанных выбросов в прирост глобального парникового эффекта в 1990–2017 гг. составил 18%, а в 2017 г. достиг 1/3 [17, р. 2].

Связующим звеном обеих групп мер выступает использование наилучших доступных технологий (НДТ), обеспечивающих, с одной сто-

роны, сокращение производственных издержек, повышение производительности труда и улучшение качества выпускаемой продукции, что имеет первостепенное значение для ускорения темпов экономического роста и модернизации экономики, а с другой стороны, снижение, по имеющимся оценкам, на 75–80% вредного и опасного воздействия техногенных выбросов на здоровье человека и экосистем. Принимая во внимание содержащиеся в таких выбросах соединения углерода, можно утверждать, что НДТ позволят смягчить негативное воздействие на климатообразующие условия и факторы, а значит, снизить техногенные риски климатических изменений.

РАТИФИКАЦИЯ РОССИЕЙ ПАРИЖСКОГО СОГЛАШЕНИЯ В КОНТЕКСТЕ СТРАТЕГИИ СНИЖЕНИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ РИСКОВ РАЗВИТИЯ

Парижское соглашение подписали 197 государств, включая Россию, и уже ратифицировали 184 государства. Поэтому прямо или косвенно это соглашение и в целом международная климатическая повестка будут оказывать на Россию значительное влияние, использовать которое или противодействовать которому при отказе от ратификации уже не удастся. В связи с этим остаться за рамками Парижского соглашения для России было бы контрпродуктивно.

Вместе с тем не менее рискованным для страны была бы ратификация этого международного соглашения без его тщательного анализа или недооценка рассмотренных выше рисков ускоренного перехода на стратегию низкоуглеродного развития [4]. В таком случае Россия рискует наступить на грабли, от которых предостерегает преамбула Парижского соглашения: "Стороны могут страдать не только от изменения климата, но также от воздействия мер, принимаемых в целях реагирования на него" [14, с. 24].

Особого внимания требуют активные попытки² ввести в России уже с 2025 г. разрешения на эмиссию парниковых газов для хозяйствующих субъектов на основе отраслевых лимитов на выбросы и, главное, сбора за их превышение. Обеспокоенность вызывает отсутствие указания критериев и механизмов установления упомянутых лимитов, а также целевых показателей выбросов для юридических лиц и индивидуальных предпринимате-

² См. проект Федерального закона "О государственном регулировании выбросов парниковых газов и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации" [18].

лей. Подобная политика повлечёт за собой риск существенного увеличения фискальной нагрузки на бизнес (по крайней мере, без продуманных схем защиты энергоёмких производств и одно-временного сокращения других налогов и обязательных платежей) до 1 трлн руб. в год к 2020 г. и до 3 трлн руб. — к 2035 г., и снижение и без того невысокой мотивации отечественного бизнеса к инвестициям [19, с. 26]. При этом наибольшее бремя ляжет на энергетический сектор, который в среднесрочной перспективе сохранит приоритетную роль драйвера экономического роста. Ограничения эффективности инвестирования в энергетический сектор приведут к снижению темпов не только его технологической модернизации, но и темпов роста ВВП. В результате под угрозой окажется выполнение важнейших национальных целей по повышению темпов экономического роста выше среднемировых и ускорению технологического перевооружения, сформулированных в майском указе Президента РФ. Кроме того, прогнозируемое при таком сценарии существенное повышение цен и тарифов на тепло и электричество отрицательно скажется на величине располагаемых доходов потребителей, осложнив достижение двух других целей национального развития — обеспечения устойчивого роста реальных доходов граждан и снижение вдвое уровня бедности.

Поэтому ратификация Парижского соглашения должна быть сопряжена с рядом условий. Прежде всего необходимо обеспечить адекватную оценку роли российских бореальных лесов в снижении объёмов парниковых газов в атмосфере. Это условие прямо фигурирует в добровольных обязательствах России по соблюдению Парижского соглашения, однако значение российских бореальных лесов до сих пор сильно недооценивается международным климатическим сообществом. Кроме того, представляется целесообразным скорректировать указанные обязательства (учитывая их добровольный характер, а также паузу в ратификации Парижского соглашения) в части объёмов эмиссии, привязав их к динамике ВВП, и тем самым не ставя под риск долгосрочный устойчивый рост экономики. Иными словами, нужно комплексное решение, предусматривающее смягчение проблемы изменений климата и их последствий для населения и экономики страны в контексте и при обеспечении в среднесрочной перспективе приоритета социально-экономических целей устойчивого развития на основе запуска и поддержания устойчивых темпов экономического роста. Учитывая, что Парижское соглашение вступает в силу с 2020 г., у России есть время, чтобы сформировать разумную позицию

по своим климатическим обязательствам, отвечающую национальным интересам.

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа выполнена в рамках и при поддержке Программы фундаментальных исследований РАН по приоритетным направлениям, определяемым Президиумом РАН, № 20 "Многофакторные вызовы и риски перехода к новому этапу научно-технологического и экономического развития России: фундаментальные и прикладные проблемы".

ЛИТЕРАТУРА

1. Стратегия научно-технологического развития Российской Федерации. Утверждена указом Президента РФ от 1 декабря 2016 г. № 642.
2. The Emissions Gap Report 2018 (A UN Environment Synthesis Report). Nairobi: UNEP, November 2018.
3. *Le Quéré C., Andrew R. M., Friedlingstein P. et al.* Global Carbon Budget 2018 // *Earth System Science Data*. 2018. № 10. P. 2141–2194.
4. Global Warming of 1,5°C: An IPCC special report on the impacts of global warming of 1,5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. Summary for Policymakers. Formally approved at the First Joint Session of Working Groups I, II and III of the IPCC and accepted by the 48th Session of the IPCC, Incheon, Republic of Korea, 6 October 2018.
5. *Порфирьев Б. Н.* Экология как экономика: нобелевские премии // *Коммерсант-"Наука"*. Приложение № 45 от 31.10.2018. С. 8.
6. The Low Carbon Economy Index 2018. PwC: 2018.
7. New life for the Paris deal // *The Economist*. December 16th 2017. P. 51–52.
8. What they don't tell you // *The Economist*. November 18th 2017. P. 11–12.
9. Natural Hazards, Unnatural Disasters: The Economics of Effective Prevention. N.Y.: The World Bank and the United Nations, 2010.
10. Better Growth – Better Climate: The New Climate Economy Synthesis Report. The Global Commission on the Economy and Climate. Washington DC: World Resources Institute, 2014.
11. The Cost of Air Pollution Strengthening the Economic Case for Action. The World Bank and Institute for Health Metrics and Evaluation. Washington, DC: World Bank, 2016.
12. State of Global Air 2018. Health Effects Institute Special Report. Boston, 2018.
13. *Im U., Brandt J., Geels C. et al.* Assessment and economic valuation of air pollution impacts on human health over Europe and the United States as calculated by a multi-model ensemble in the framework of AQMEII3 // *Atmospheric Chemistry and Physics*. 2018. V. 18. P. 5967–5989.

14. Парижское соглашение. <https://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/rus/109r.pdf> (дата обращения 2.02.2018)
15. Широв А.А., Колпаков А.Ю. Экономика России и механизмы глобального климатического регулирования // Журнал Новой экономической ассоциации. 2016. № 4. С. 87–110.
16. Green Growth Indicators 2017. Paris: OECD Publishing, 2017.
17. The State of Greenhouse Gases in the Atmosphere Based on Global Observations through 2017 // WMO Greenhouse Gases Bulletin. 2018 (November 22nd). № 4. P. 1–9.
18. <http://regulation.gov.ru/projects#departments=6&kinds=6&пра=86521> (дата обращения 12 декабря 2018).
19. Зелёные финансы: повестка дня для России. Диагностическая записка. М.: Экспертный совет по рынку долгосрочных инвестиций при Банке России, октябрь 2018 г.

ECONOMIC DIMENSIONS OF THE CLIMATE CHANGE CHALLENGE FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT IN RUSSIA

© 2019 B.N. Porfiriev

Institute of Economic Forecasting, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

E-mail: b_porfiriev@mail.ru

Received: 18.12.2018

Revised version received: 18.12.2018

Accepted: 18.02.2019

The issues involved in choosing an effective response to the challenge of climate change are considered. The paradigm of a low-carbon economy is analyzed critically using the criterion of stabilizing global warming so that it does not exceed 2°C warming by the end of the 21st century. The criteria of improving citizens' quality of life and providing for sustainable economic growth are also important. Efficient actions that minimize the risks to socioeconomic development posed by climate change will require the implementation of an integrated set of institutional, economic, and technological measures. High-priority actions include: fostering economic growth by increasing the effectiveness of production using the best-available technologies for resource processing and management; reducing the hazardous impact of industrial emissions on the environment and human health; adaptation and protection of communities and ecosystems against industrial waste and climate change; and alleviation of the accumulated negative effects resulting from climate change. These priorities will help in mitigating the present and future hazardous impacts of technology on the environment.

Keywords: climate change, low-carbon development, efficient action strategy, adaptation, economic growth, best-available technologies.

РОССИЙСКАЯ ИДЕНТИЧНОСТЬ: ВНУТРЕННИЕ И ВНЕШНИЕ ВЫЗОВЫ

© 2019 г. В.А. Тишков

Институт этнологии и антропологии им. Н.Н. Миклухо-Маклая РАН, Москва, Россия

E-mail: valerytishkov@mail.ru

Поступила в редакцию 17.12.2018 г.
Поступила после доработки 16.01.2019 г.
Принята к публикации 21.01.2019 г.

В статье определяются главные компоненты формирования национальной идентичности в России как фундамента нациестроительства на гражданской основе. Среди них важное место занимают изучение и сохранение историко-культурного наследия, а именно архивных и археологических материалов, памятников культуры, мест памяти и историко-культурного ландшафта. Помимо уже выполненных учёными РАН, предлагаются перспективные проекты: создание корпуса русского языка и других языков народов России, академических словарей и энциклопедий; подготовка и издание собраний сочинений классиков русской литературы; подготовка многотомных изданий по истории России. Обосновывается важность гуманитарно-научного сопровождения инфраструктурных проектов развития, массового жилищного строительства, возведения масштабных сооружений и транспортных коммуникаций с целью предотвратить утрату среды и ценностей, необходимых для национального самосознания.

Ключевые слова: национальное самосознание (идентичность), Россия, историко-культурное наследие, история, археология, архивы, языки, литература, места памяти, инфраструктурные проекты, гуманитарная экспертиза.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-5873894408-412>

Вопрос о национальном самосознании (идентичности) — пожалуй, самый важный в национальном строительстве современных государств, поскольку все они имеют сложный расовый, этнический, религиозный состав населения. Многие развитые государства приняли и продолжают принимать большое число мигрантов, что создаёт дополнительные проблемы в адаптации и интеграции новых жителей. Обострились геополитическое соперничество и экономическая конкуренция национальных государств. Наметился глобальный конфликт суверенных ценностей и подходов к устройству общественной жизни стран и регионов.

Российская Федерация относится к категории центральных акторов мировой политики. Нашей стране приходится отстаивать национальный суверенитет и статус одной из ведущих держав мира, и эта задача осложняется тем, что Россия сравнительно недавно пережила драматический распад исторической государственности и ещё не завершила поиск нового образа страны и её роли

в сообществе наций-государств. В этот сложный и исторически ответственный период понимание России как одной из крупнейших наций мира и носителя уникальной культуры мирового значения сталкивается и с внутренними проблемами, и с внешними вызовами. О международных факторах речь шла в трёх предыдущих докладах на нашей секции, поэтому я остановлюсь только на некоторых проблемах внутрироссийского характера и предложениях по их решению.

Помимо территории с охраняемыми границами и ресурсами, конституции и институтов власти, легитимность и суверенность государства обеспечиваются:

- населением, которое освоило и использует пространство своей страны и имеет установленные наукой демографический и этнокультурный облик, определённые социальные условия жизни;
- историко-культурными ценностями, разделяемыми гражданами данного государства, и основанной на них идентичностью, которая порождает чувство сопричастности со страной-родиной;
- эффективным управлением обществом, опирающемся на понимание его культурной сложности, способностью власти и общества приходить

ТИШКОВ Валерий Александрович — академик РАН, академик-секретарь Отделения историко-филологических наук РАН, научный руководитель ИЭА РАН.

к согласию и стимулировать развитие, в том числе с помощью научной экспертизы.

Сегодня проблема российской идентичности, иными словами, российского национального самосознания активно изучается. Нет общей идентичности — нет и страны, и каждое новое поколение задаётся вопросом, что такое Россия, что значит быть россиянином, что связывает гражданина с его страной. Ответы на эти вопросы не передаются по наследству и не воспроизводятся механически, и наука непосредственно участвует в их выработке. Какие-то элементы национальной идентичности транслируются через семейную традицию, через среду проживания человека, как социальную, так и природную. Но в семейном, а тем более школьном воспитании используются учебники, написанные учёными или на основании современных научных знаний, а окружающая среда наполняется смыслами, вырабатываемыми при участии специалистов разного профиля, в первую очередь историков, археологов, лингвистов. Учёные помогают объяснять и сохранять традиции и культурные ценности, так как далеко не всё передаётся через устную память.

Сохранение и воспроизводство культурного капитала нации — работа, требующая сотрудничества науки и государства, ибо без научной проработки процесса принятия решений любая политика — это нищая политика и безответственная импровизация. Существует и своего рода социальный заказ самого общества: люди нуждаются в адекватных и актуальных для них версиях прошлого, которые могут быть получены только благодаря деятельности профессионалов. Жизненное благополучие самого обычного человека опирается на разработанные наукой представления об окружающем мире и о месте в этом мире его родины. Формулируя такие, казалось бы, отвлечённые понятия, как национальная идея, или ответ на вопрос "что есть Россия?", учёные помогают вырабатывать и наполнять смыслами жизненные цели и ценности нации, участвуют в разработке стратегий развития страны.

Возьмём в качестве примера проблему определения одной из фундаментальных для национальной идентичности категории "российский народ". Эта категория, упразднённая в 1917 г. вслед за изъятием из названия страны словом "Россия", после 1991 г. вроде бы вернулась в нашу национальную историю. Но это возвращение было не просто трудным, некоторые до сих пор отстаивают точку зрения, что такого народа нет, что "россиян" придумал Б.Н. Ельцин. Историки, демографы, социологи, этнологи и другие

гуманитарии за последние четверть века создали обновлённую версию нашего прошлого, раскрыли преемственность исторического процесса и значение для национальной памяти великих и драматических событий, включая Великую российскую революцию 1917 г. и Отечественную войну 1941–1945 гг.

Учёные РАН внесли важный вклад в подготовку и проведение всероссийских переписей населения 2002 и 2010 гг., в результате которых были установлены численность россиян, их демографический портрет, в том числе расселение по нашей огромной территории, этнический состав, владение языками, результаты миграционных процессов за последние 30 лет. Было подтверждено ранее оспаривавшееся многими экспертами и политиками утверждение, что демографический кризис не означает вымирание России. Мы также установили, что, несмотря на большой объём иммиграции после 1991 г., этническая структура населения России достаточно стабильна и русские (особенно после присоединения Крыма) продолжают составлять устойчивые 80% населения, хотя их общая численность сокращается вместе со всем населением страны.

Из сказанного следует, что реализация обсуждаемого на нашей секции приоритета невозможна без проведения фундаментальных гуманитарных исследований, особенно по теме формирования российской нации и этнокультурного развития народов России. Мы предлагаем организовать поддержку таких исследований. В ближайшие годы необходимо выполнить фундаментальные проекты по созданию академической "Истории России" и изданию актов российской государственности, а для этого требуется сохранить в должном объёме подготовку профессиональных историков, археологов, антропологов и этнологов.

Необходимо продолжать совместную работу Российской академии наук с Росстатом и Минэкономразвития России по готовящимся стратегиям пространственного и демографического развития, а также с Федеральным агентством по делам национальностей — по вопросам реализации Стратегии государственной национальной политики Российской Федерации до 2025 года и подготовки ряда федеральных законопроектов, прежде всего законодательных актов об археологической и этнологической экспертизе, сохранении и защите историко-культурной среды. Поэтому мы предлагаем более основательно задействовать институты РАН в этой работе и во исполнение федерального закона о Российской академии наук сделать обяза-

тельной академическую экспертизу документов стратегического развития, не ограничиваясь только экспертизой, проводимой Высшей школой экономики и Российской академией народного хозяйства и государственной службы при Президенте РФ. Страна от этого только выиграет, как это было, например, при привлечении Научного совета РАН по комплексным проблемам этничности и межнациональных отношений к работе над новой редакцией Стратегии государственной национальной политики Российской Федерации — удалось существенно обновить и улучшить содержание документа. Аналогичной работы требуют программа всероссийской переписи населения 2020 г. и программы социально-экономического и культурного развития России.

За последние годы в области изучения, сохранения и использования историко-культурного наследия русского народа большая работа была проделана как институтами центральной части РАН, так и регионально-республиканскими академическими коллективами. Нужно понимать, что, хотя исторические и культурологические исследования проводятся также вузовской наукой и объём выделенных вузовским работникам грантов по линии РНФ и РФФИ уже превзошёл академический сектор, фундаментальные проекты не могут выполняться перегруженными и разобщёнными преподавателями вузов. Реализовать подобные проекты под силу только крупным исследовательским коллективам, работающим, как правило, на протяжении многих лет. Об этом свидетельствует, в частности, список российских гуманитариев, получивших государственные премии за последние 20 лет.

К проектам такого рода относятся: создание корпуса русского языка и других языков народов России, академических словарей и энциклопедий; подготовка и издание собраний сочинений классиков русской литературы; подготовка многотомных изданий всемирной и отечественной истории; публикации государственных актов и других исторических источников. Российской академии наук и Минобрнауки России, выстраивая стратегию поддержки отечественной гуманитарной науки, следует сосредоточиться именно на крупных проектах и программах фундаментальных исследований, способных объединить академические институты (и для этого совсем не нужно сливать их в мегаструктуры) и интегрировать в эту работу университетских учёных.

Гонка за большими числами полуфабрикатных статейных публикаций не может заменить

фундаментальные разработки, а тем более обогатить науку новым знанием, а значит, и международным признанием. У российских гуманитариев приоритетным языком науки должен быть русский, а не английский язык, а перевод и пропаганда отечественных достижений во внешнем мире могут обеспечивать особые группы и институты типа ИНИОНа. Минобрнауки России нужно пересмотреть показатели эффективности для учёных и научных коллективов в данном сегменте отечественной науки.

Особо хочу обратить внимание на научное обеспечение (скорее, сопровождение) крупных инфраструктурных проектов развития, предполагающих массовое жилищное строительство, возведение масштабных сооружений и транспортных коммуникаций. Учёные не могут стоять в стороне, если существует угроза повторения феномена "колокольни в Калязине", когда в результате строительства гидроэлектростанций в СССР были затоплены и навсегда погублены тысячи поселений и памятников архитектуры и бесчисленные археологические материалы. Недавно земельные собственники и строительные монстры добились принятия поправки к Градостроительному кодексу РФ, которая отменяет обязательное археологическое обследование мест застройки или затопления и получение заключения РАН на ведение строительных работ. Теперь Минкультуры России должно определить по всей России перспективные и неперспективные для археологических обследований территории. Эта задача невыполнима и даже абсурдна, ибо ясно, что, например, на территории Москвы и Московской области памятники отечественной истории могут содержаться в любом месте. Но эти земли сейчас в частных руках и уже спланированы под тотальную застройку. Природно-исторический парк "Московия" в районе от Успенского до Звенигорода был похоронен, а сам Звенигород собираются присоединить к городу Одинцово, и тогда с карты страны может исчезнуть древнерусский город, основанный в 1152 г.

Нужно срочно, пока мы не изуродовали свою страну, включая самый центр — колыбель российской государственности, исправить ошибочную политику пространственного развития, обновить и ужесточить нормы по сохранению как природного, так и историко-культурного ландшафта. Российская академия наук в лице Отделения историко-филологических наук готова вместе с Минкультуры, Минприроды и Минэкономразвития России подключиться к этой работе. Есть недавние позитивные примеры: срочные работы, выполненные археологами на территории Московского Кремля при разбор-

ке административного корпуса; раскопки-обследования в зоне строительства Крымского моста, давшие ценные находки; обследование верхнего течения Москвы-реки в районе Николиной горы — Звенигорода, которое пока никак не учтено властями столицы и Московской области в их крайне спорных планах застройки этой зоны (так называемая новая Москва).

Следующий принципиальный вопрос связан с изучением межнациональных отношений и этнокультурной политики, включая языковую политику. Ситуация в стране в целом позитивная, особенно после присоединения Крыма и успешного проведения мировых соревнований — Олимпийских игр в Сочи и Чемпионата мира по футболу. Но в большом и сложно устроенном государстве требуются постоянный мониторинг этнической и религиозной жизни и научная проработка соответствующих проблем. Нужно изучать как традиционную культуру русского народа, русский язык и русскую словесность, так и культуры и языки других российских народов. Более того, предметом научного интереса должны быть не только российские, но и народы мирового культурного ландшафта. Академическая традиция в этой сфере имеет славные достижения, которые к 300-летию юбилею РАН следовало бы особо отметить и воздать должное тем российским колумбам, которые открывали и осваивали новые земли и собрали уникальные научные материалы, музейные коллекции и описания.

Российское этнокультурное многообразие успешно изучается в академических центрах российских республик. Желательно, чтобы Минобрнауки России поддерживало эти исследовательские коллективы, тем самым оберегая их от поглощения местными естественно-научными коллективами. Связь с Российской академией наук обеспечивает должный уровень работ на местах, противодействует изоляционизму и периферийному национализму. Сотрудничество учёных российских регионов — один из компонентов обеспечения единства российской нации.

Для так называемой центральной части академической науки приоритетным становится разработка темы российской идентичности. В последнее время крупные исследования по этой проблематике выполнялись социологами, политологами, психологами, этнологами, они позволяют вполне определённо заключить, что на смену старой советской и регионально-этнической идентичностям в качестве приоритетного пришло самосознание общероссийское, то есть люди среди набора идентичностей

(кем они себя считают прежде всего) ставят на первое место "Я — гражданин России" и "Я — россиянин". В некоторых регионах (республиках) этническая принадлежность может превалировать над общероссийской, но нигде в стране нет её явного отрицания. В связи с этим перед академической наукой встаёт целый ряд проблем: чем наполнять и как обновлять этот сложный комплекс формирования сопричастности с Россией, как соединить образы малой и большой Родины, что положить в основу патриотического воспитания граждан, какие духовно-нравственные начала сохранять и что предложить нового по запросам и чувствам нового поколения россиян?

В решении названных проблем сегодня многое отдано на откуп коммерческим интересам (что покупают, то и пропагандируем), идеологизированным, конъюнктурным подходам (что отвечает политическому моменту или низовым мифологиям, то и верно). Научное знание в массовом потреблении подменяется провиденческими и эзотерическими трактовками духовно-нравственной стороны российской жизни. Некоторые организации в государственных структурах, политические и духовные институты, медийные службы выступают с проектами переустройства России, которые не всегда дружат с наукой и зачастую даже не отвечают здравому смыслу.

Интеллектуальный изоляционизм и самонадеянность всегда были чужды академической науке. Даже в советское время в области общественно-научного знания существовали обмен информацией и международное научное сотрудничество. В настоящее время они развиваются только благодаря инициативам одиночек и некоторым грантовым программам. Новая холодная война и русофобия работают против нормальной деятельности учёных-гуманитариев. Наступило время пропагандистских предписаний, жестоких идеологических и политических столкновений, медийной индоктринации. В этой мутной среде плодятся антинаучные версии прошлого и настоящего, фальсификации и скандальный пересмотр устоявшихся в науке оценок, не говоря уже о серьёзных вызовах со стороны зарубежных ревизий российской истории, анализ которых требует отдельного доклада.

В сложившейся ситуации мы предлагаем провести инвентаризацию идейно-смыслового багажа отечественного россиеведения, выработать научную концепцию российского национального проекта как государства-нации со своей историей и собственными национальными интересами, составляющей в то же время часть мировой,

прежде всего европейской цивилизации и развивающейся по многим общим с другими странами и обществами законам. Изоляционизм и выпадение из глобальных трендов развития могут дорого нам обойтись, и часть ответственности здесь

будет лежать на науке. Учёные в большой мере отвечают за уровень компетенции как правящей элиты, так и населения в целом, за их жизненные установки и за формирование молодого поколения ответственных граждан.

RUSSIA'S IDENTITY: GRAND CHALLENGES

© 2019 V.A. Tishkov

N.N. Miklukho-Maklai Institute of Ethnology and Anthropology of RAS, Moscow, Russia

E-mail: valerytishkov@mail.ru

Received: 17.12.2018

Revised version received: 16.01.2019

Accepted: 21.01.2019

The author formulates major components of Russian national identity that form the basis for a civic nation-building project. These are the study and preservation of historic and cultural legacies including archival and archeological heritage, historic and cultural monuments, memorial sites, historic sites, and landscapes. In addition to active projects, the author suggests novel projects: the construction of a big-data corpus for Russian and other languages spoken in the country, academic dictionaries and encyclopedias, complete works of classic Russian literature, and a multi-volume history of Russia. Social-science expertise is needed for infrastructure and development projects and the construction of mass residential buildings and transport facilities to ensure the preservation of common milieus and values that make up a national identity.

Keywords: national identity, Russia, historic and cultural legacies, history, archeology, archives, languages, literature, memorial sites, infrastructure projects, social-science expertise.

ОБЩАЯ ДИСКУССИЯ ПО ПРИОРИТЕТУ

Материал поступил в редакцию 03.12.2018 г.

Принят к публикации 25.12.2018 г.

Ключевые слова: А.Е. Суринов, В.Я. Белокреницкий, И.С. Семененко, И.Д. Звягельская.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-5873894413-415>

РУКОВОДИТЕЛЬ ФЕДЕРАЛЬНОЙ СЛУЖБЫ ГОСУДАРСТВЕННОЙ СТАТИСТИКИ А.Е. СУРИНОВ

Федеральная служба государственной статистики (Росстат) очень тесно взаимодействует с экспертным сообществом и с академической наукой, прежде всего с экономистами, социологами и демографами. Кроме того, с периодичностью раз в 10 лет, когда наше ведомство приступает к подготовке очередной всероссийской переписи населения, мы обращаемся к этнографам и лингвистам, поскольку должны выяснить этническую и лингвистическую структуру российского общества. Большую поддержку в этой работе нам оказывают, в частности, Институт этнологии и антропологии им. Н.Н. Миклухо-Маклая РАН и Институт русского языка им. В.В. Виноградова РАН.

На первый взгляд может показаться, что нет ничего проще, чем опросить людей, задавая вопрос "кто вы по национальности?", а затем, обработав эту информацию, получить картину этнического состава населения России. В 1897 г. при проведении первой в Российской империи всеобщей переписи под руководством П.П. Семёнова-Тян-Шанского этот вопрос не задавался, он появился в 1920 г., когда перепись готовили под руководством В.И. Ленина. Тем не менее этнический состав Российской империи в конце XIX в. был установлен. Каким образом? Этническая принадлежность определялась по трём признакам — месту рождения, языку, который опрашиваемый считал родным, и религиозной принадлежности.

Если в 1897 г. спрашивали, что спрашивать о национальности не следует, то начиная с 1920-х годов этот вопрос задаётся регулярно. Но что он нам даёт? Сравнивая этническую карту России за 1989 г., когда ещё существовала РСФСР, и карту, полученную по результатам первой в современной России переписи 2002 г., обнаруживаем, что доля русских сильно сократилась, доля тех, кто не определил свою национальную принадлежность, заметно возросла, появилось много людей, не относящих себя ни к одной из титульных национальностей. При сопоставлении результатов переписей 2002 и 2010 гг. получаем обратную тенденцию: доля русских опять растёт, достигая уровня 1989 г. Как объяснить эти показатели — миграцией,

динамикой смертности и рождаемости? Причина не только в этом, но и в самооценках, разнящихся от переписи к переписи. Эти самооценки подвержены разным влияниям — политическим, социальным и т.д. Например, то, что численность казаков в 1920 г. по сравнению с 1910 г. сократилась в 2 раза везде, за исключением Дагестана, где она выросла, объясняется активностью местного атамана.

Подобные процессы характерны и для других обществ с изломанной судьбой. Приведу в качестве примера Чехию и социалистическую Чехословакию. Национальная структура Чехии претерпела схожие метаморфозы: перепись 1980 г. выявила, помимо чехов и словаков, весьма незначительное число представителей других народностей, а в 1991 г. по итогам первой переписи в независимой Чехии обнаружилось резкое сокращение числа чехов, ещё более резкое — словаков, и значительный рост доли моравского населения. В 1991 г. увеличилась и доля людей, которые не захотели определить свою национальность, а в ходе последней переписи 2011 г. (в Евросоюзе переписи проводят в годы, оканчивающиеся на единицу) таких было уже более четверти.

Российские статистики сталкиваются с постоянно меняющейся самооценкой граждан и обусловленной этими изменениями подвижной картиной этнического состава нашей страны каждые 10 лет. Россия — страна многонациональная и полилингвистическая, а перепись населения — единственный легитимный источник данных об этнической и лингвистической структуре российского общества. Росстат рассчитывает на сохранение того давнишнего сотрудничества, которое сложилось у нас с Институтом этнологии и антропологии им. Н.Н. Миклухо-Маклая РАН, потому что прикладные исследования невозможны без прояснения целого ряда фундаментальных вопросов, а динамичный характер изучаемых процессов требует снова и снова искать ответы на эти вопросы с учётом новых реалий.

ДОКТОР ИСТОРИЧЕСКИХ НАУК В.Я. БЕЛОКРЕНИЦКИЙ

Предложенный академиком В.В. Наумкиным нетрадиционный подход к изучению этнополитических конфликтов чрезвычайно перспективен, однако если

перейти с глобального межгосударственного уровня на внутривнутриполитический, обнаруживается, что политический конфликт на этнической основе в чистом виде встречается достаточно редко, а если он случается, то ведёт к очень серьёзным последствиям.

Опираясь на исторический опыт последних десятилетий, можно выделить две модели разрешения этнополитических конфликтов — шри-ланкийскую и непальскую. Конфликт между сингалами и тамилами в Республике Шри-Ланка может служить классическим примером этнополитического противостояния. Он растянулся более чем на 25 лет, приведя к гибели около 100 тыс. человек, и завершился весной 2009 г. полным разгромом тамильских сепаратистов, стремившихся к созданию отдельного государства на северо-востоке острова. Но такой исход, как безоговорочная победа одной из сторон, в истории послевоенных внутренних конфликтов наблюдается лишь в исключительных случаях. Большинство конфликтов (согласно представительному исследованию одной из международных исследовательских организаций около 100 ситуаций такого рода) завершилось компромиссом — уступками и с одной, и с другой стороны. В частности, выполнение основных требований оппозиции и самороспуск вооружённых сил положили в 2006 г. конец конфликту в Непале, другой южноазиатской стране.

Близким к непальской модели может стать урегулирование затяжного конфликта в Афганистане. В афганской ситуации этнический фактор легко опознаётся, однако он сублимирован, и в целом конфликт носит идеолого-политический характер и окрашен в тона, свойственные для афганского полупатриархального общества. Кроме того, в отличие от непальского афганский конфликт имеет многоуровневое внешнее измерение — региональное и глобальное. По общему мнению, время для его радикального решения путём ослабления и вытеснения талибов, как это происходит в настоящее время с запрещённым в России ИГИЛ, безвозвратно упущено. Потеря контроля на местах делает необходимым урегулирование посредством переговоров и вовлечения талибов в легальный политический процесс. Именно на этом направлении российская дипломатия добилась несомненного успеха, организовав в начале ноября 2018 г. в Москве многосторонние переговоры с участием представителей талибов и афганского правительства.

В заключение коснусь ещё одной темы, затронутой В.В. Наумкиным, — проблемы этнонациональных групп, которым не удалось создать собственную государственность. При определённых условиях кризис наций и государств может вновь поставить на повестку дня вопрос о борьбе за государственное самоопределение таких групп, и речь идёт не только о курдах и палестинских арабах. Подобные процессы способны значительно усугубить нестабильность миропорядка, обостряя положение прежде всего

в таких очагах этой нестабильности, как юг Евразии, Ближний и Средний Восток. Если подобный сценарий реализуется, отечественные политики, дипломаты и академическое экспертное сообщество столкнутся с новыми вызовами и дилеммами.

ЧЛЕН-КОРРЕСПОНДЕНТ РАН И.С. СЕМЕНЕНКО

Перспективы ответа на большие вызовы определяются той средой, в которой формулируются и реализуются эти ответы. Особенности самой среды зависят от восприятия больших вызовов: понимание угроз, рисков и возможностей отражается в структуре личностных и групповых идентичностей, проецируясь на социальные процессы.

Важнейшим социальным ресурсом эффективного ответа на большие вызовы выступает преодоление кризиса идентичности, что может быть достигнуто на основе позитивного видения будущего, нацеленности человека и сообщества на развитие и формирования того, что мы называем "идентичностью развития". Без понимания личностных и общественных перспектив достойно ответить на большие вызовы вряд ли удастся.

Плодотворной как для России, так и для всего мира в этом контексте является концепция "ответственного развития". Её мы определяем как систему координат, в которой можно продвигаться в решении ключевых вопросов общественного развития на разных уровнях организации социума. В основании ответственного развития — нравственная мотивация избираемых приоритетов, вовлечённость граждан в принятие и реализацию решений и её политико-институциональное обеспечение, опора на возобновляемые (нематериальные, интеллектуальные) ресурсы в производстве и потреблении. Ответственное развитие предполагает стратегическое видение развития и взаимодействие его субъектов — государства, гражданских организаций, образовательного и научного сообществ, бизнеса, информационных и аналитических СМИ. Такой подход требует постоянной настройки институтов на основе долговременного прогнозирования социально-экономических и политических процессов. Институт мировой экономики и международных отношений им. Е.М. Примакова РАН уже не первое десятилетие готовит прогнозы такого рода, меняя их структуру и вводя новые ракурсы в соответствии с меняющейся повесткой дня.

Приоритетной проблемой оказывается реализация названной модели в условиях растущих потребностей людей и радикально меняющейся культурной нормы, что характерно как для мира в целом, так и для нашей страны. Одна из важнейших задач на этом направлении — формирование общего интеллектуального и культурного пространства России, в частности, через осуществление масштабных образовательных проектов, о ко-

торых упоминал академик А.А. Дынкин. Сегодня у нас нет площадок для взаимодействия регионов, нет даже общего музейного пространства, в котором было бы представлено культурное разнообразие народов России, а главное, позитивный взгляд на будущее, сочетающий национальные традиции и инновационный подход к социальному развитию. Поэтому налаживание горизонтальных связей посредством образовательных проектов, научно-исследовательских программ, экспертных платформ, информационных сетевых ресурсов относится к числу тех задач национального развития, решение которых в первую очередь должна взять на себя Российская академия наук.

В заключение подчеркну: наука — важный участник того, что можно назвать "борьбой за идентичность". Полноценная вовлечённость в эту "борьбу" предполагает представление в публичном пространстве результатов научных исследований, информирование о возможностях их использования, в том числе через просветительскую деятельность, в формах, отвечающих потребностям завтрашнего дня. Только так можно преодолеть тот барьер между наукой и обществом, который выражается в заниженной оценке важности научного знания в общественном мнении, и помочь в преодолении страхов, лежащих в основе кризиса идентичности.

ДОКТОР ИСТОРИЧЕСКИХ НАУК И.Д. ЗВЯГЕЛЬСКАЯ

Почему использование существующих инструментов урегулирования конфликтов не приводит к желаемым результатам? Потому что многие из них устарели. В последнее время справедливо говорят о необходимости реформирования ООН, поскольку эта организация была создана не для урегулирования современных конфликтов, в основном протекающих внутри одного государства. Главной задачей ООН мыслилось разрешение или, по крайней мере, стабилизация межгосударственных конфликтов.

Сегодня конфликтные ситуации подвергаются воздействию главным образом со стороны разного рода коалиций или ответственных за защиту стран, в том числе в рамках гуманитарных интервенций. Такие коалиции или отдельные страны

могут обращаться в ООН за мандатом, а могут прекрасно обходиться и без него, яркий пример тому — Ливия. В подобной ситуации эффективность многосторонних действий в формате ООН вызывает всё больше сомнений. На смену этому формату, как утверждают многие эксперты, приходят односторонние действия. Сейчас все говорят о президенте США Д. Трампе, о том, сколь резкие и неожиданные шаги он предпринимает. Если рассматривать палестино-израильское противостояние, то это и перенос посольства в Иерусалим, и отказ финансировать Ближневосточное агентство ООН для помощи палестинским беженцам и организации работ (БАПОР), которое занимается предоставлением социальных услуг палестинским беженцам в Сирии, Ливане, на Западном берегу реки Иордан и в секторе Газа.

Однако в случае с Д. Трампом сложно судить, что является причиной предпринимаемых им мер — личные качества, или то, что он, прямо скажем, не очень профессионален в области международной политики, или же, действительно, осознанный переход к односторонним действиям. Я полагаю, что хоронить многосторонние действия пока рано, однако они должны быть дополнены большим сотрудничеством с региональными державами, которые сейчас активно выдвигаются на первый план международных отношений и всячески участвуют в конфликтах и в "прокси-войнах" как на Ближнем Востоке, так и в других очагах напряжённости. Данная стратегия вместе с тем имеет существенные ограничения, поскольку региональные лидеры руководствуются главным образом рациональным эгоизмом и не очень настроены на совместные действия внутри региона. А значит, всё равно необходим какой-то катализатор, как правило, внешний фактор. В качестве примера взаимодействия, стимулируемого со стороны внешнего участника, можно привести астанинский формат, в рамках которого Россия ведёт переговоры с Ираном и Турцией. Но и этот формат при всей своей плодотворности не устраняет основной проблемы — того, что и Турция, и Иран имеют различные интересы. Они будут стремиться закрепиться в послевоенной Сирии, соперничая друг с другом и уже не нуждаясь в тесной кооперации с Россией.

GENERAL DISCUSSION ON PRIORITIES

Received: 03.12.2018

Accepted: 25.12.2018

Keywords: A.E. Surinov, V.Ya. Belokrenitsky, I.S. Semenenko, I.D. Zvyagelskaya.

ОФИЦИАЛЬНЫЙ
ОТДЕЛ

**БОЛЬШАЯ ЗОЛОТАЯ МЕДАЛЬ ИМЕНИ Н.И. ПИРОГОВА
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК 2018 ГОДА**

Высшая награда Российской академии — Большая золотая медаль им. Н.И. Пирогова РАН 2018 г. присуждена академику РАН Ренату Сулеймановичу Акчуруну за фундаментальные и прикладные исследования в области кардиохирургии и микрохирургии и доктору медицины, профессору Акселю Хавериху (ФРГ) за фундаментальные и прикладные исследования в области торакальной, сердечной и сосудистой хирургии.

Ключевые слова: Р.С. Акчурин, А. Хаверих, торакальная, сердечная и сосудистая хирургия, высокотехнологичное лечение больных, реконструктивные операции, рубцовые поражения миокарда, эндоваскулярное протезирование, трансплантация органов, Международное общество трансплантации сердца и лёгких.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-5873894416-417>

АКАДЕМИК РАН Р.С. АКЧУРИН



Академик РАН Ренат Сулейманович Акчурин — авторитетный учёный, широко известный в стране и за рубежом как хирург высочайшего класса, развивающий новые уникальные направления в восстановительной, сосудистой и кардиохирургии, базирующиеся на использовании микрохирургической техники. Его исследования и научные разработки внесли значительный вклад в развитие медицинской науки и практики, существенно расширили возможности и улучшили результаты хирургических операций при лечении заболеваний сердца и сосудов, спасли здоровье и жизнь тысячам пациентов.

Под руководством Р.С. Акчурина определена концепция преемственности подходов лечебно-диагностических, хирургических и реабилитационных мероприятий как неотъемлемая составляющая успешного высокотехнологичного лечения тяжёлых больных. Разработаны и успешно внедрены: реконструктивные операции при тя-

жёлой травме кисти и пальцев и их последствиях; технология микрохирургии коронарных артерий; новые микрохирургические инструменты для выполнения коронарного шунтирования; методика операций прямой реваскуляризации миокарда без искусственного кровообращения и оригинальный стабилизатор миокарда "Космея"; инновационная методика одновременного радикального лечения больных, страдающих ишемической болезнью сердца и онкозаболеванием, алгоритм обследования и лечения таких пациентов; операция оментопластики переднего средостения у больных, перенёсших медиастинит после операций на "открытом" сердце; методика операции эндовентрикулопластики у больных с обширными рубцовыми поражениями миокарда; новое направление в хирургическом лечении заболеваний аортального клапана — эндоваскулярное протезирование аортального клапана при приобретённом аортальном стенозе; эндоваскулярная методика лечения аневризм грудной и брюшной аорты.

Р.С. Акчурин — автор более 600 научных работ, в том числе 20 монографий, 26 авторских свидетельств. Под его руководством подготовлены и защищены 8 докторских и 33 кандидатских диссертаций. Он ведёт большую научно-общественную работу, принимает участие во многих отечественных и международных научных конференциях и съездах, является инициатором создания Российского общества хирургов, членом Российского общества ангиологов и сосудистых хирургов, был членом президиума правления Российского научного общества сердечно-сосудистых хирургов, член редакционных советов журналов "Вестник хирургии имени И.И. Грекова", журнала "Неот-

ложная медицинская помощь им. Н.В. Склифосовского", "Russian Electronic Journal of Radiology" (REJR), член редколлегии журналов: "Патология кровообращения", "Ангиология и сосудистая хирургия", "Евразийский кардиологический журнал", "Кардиологический вестник".

Академик Р.С. Акчуринов — заместитель генерального директора по хирургии "НМИЦ кардиологии" Минздрава России, член Научного совета "НМИЦ кардиологии" Минздрава России, Научно-технического совета по реализации мероприятий в области химической, медицинской

и фармацевтической промышленности, а также биотехнологического комплекса России, секции "Медицинская промышленность Минпромторга России", Экспертного совета Фонда международного медицинского кластера.

Академик РАН Р.С. Акчуринов — лауреат Государственной премии СССР (1982), Государственной премии РФ (2002), Правительства РФ (2004), награжден орденом "Знак Почета" (1996), медалью "За заслуги перед отечественным здравоохранением" (2014), орденом Дружбы (2016), Государственной премией Республики Татарстан (2017).

ПРОФЕССОР А.ХАВЕРИХ



Аксель Хаверих (Axel Haverich) — ведущий кардиоторакальный хирург Германии и Европы, автор более 300 научных трудов, вице-президент Немецкого общества торакальной, сердечной и сосудистой хирургии.

Профессор А. Хаверих известен своими исследованиями в области кардиоторакальной и сосудистой хирургии, трансплантации органов у взрослых и детей, он создатель журнала "Трансплантационная медицина" и член редакционных

коллегий ряда европейских специализированных журналов.

Мировое признание научных и хирургических заслуг профессора А. Хавериха выразилось в избрании его членом правления немецких и международных обществ трансплантации, кардиоторакальной хирургии, немецких обществ по исследованиям стволовых клеток. С 1997 г. доктор А. Хаверих является членом совета директоров Международного общества трансплантации сердца и легких, Комитета Германии по исследованию животных, Этического комитета ФРГ по исследованиям стволовых клеток, 17 научных обществ Германии. А. Хаверих всецело содействует развитию медицинской науки и хирургии.

В течение восьми лет профессор А. Хаверих — активный организатор и участник международного конгресса "Актуальные направления современной кардиоторакальной хирургии" в Санкт-Петербурге, он лауреат Государственной премии Нижней Саксонии 2002 г., лауреат премии Рудольфа Ценкера Немецкого общества хирургов, награжден медалью Димитрия Кантемира академии наук Республики Молдова.

Многие успехи в развитии российской сердечно-сосудистой хирургии связаны с именем А. Хавериха — выдающегося ученого, врача и хирурга.

THE BIG GOLD MEDAL NAMED AFTER N.I. PIROGOV OF THE RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES 2018

Ключевые слова: R.S. Aktchurin, A. Haverich, thoracic, cardiac and vascular surgery, high-tech treatment, reconstructive surgery, cicatricial myocardial lesions, endovascular prosthesis, organ transplantation, International Society of Heart and Lung Transplantation.

О ПРИСУЖДЕНИИ ПРЕМИИ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК И НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК БЕЛАРУСИ ПО ИТОГАМ КОНКУРСА, ПРОВЕДЁННОГО В 2018 ГОДУ

Ключевые слова: биохимия белков цитохром Р450-зависимых монооксигеназных систем; мезомеханический анализ, таксономический прогноз, компьютерный дизайн структуры функциональных материалов; Великая Отечественная война 1941–1945 годов.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-5873894418-418>

В соответствии с решением Российско-Белорусской комиссии по межакадемической премии Российской академии наук и Национальной академии наук Беларуси по итогам конкурса, проведённого в 2018 г. на основании Положения о премии, присуждаемой РАН и НАН Беларуси за выдающиеся научные результаты, полученные в ходе совместных исследований, утверждённого постановлениями президиума НАН Беларуси и президиума РАН от 15 апреля 2011 г. № 25/74, президиум РАН постановляет присудить премию РАН и НАН Беларуси:

в области естественных наук — доктору биологических наук **Алексею Сергеевичу Иванову**, доктору биологических наук **Александру Юрьевичу Мишарину**, доктору биологических наук **Виктории Васильевне Шумянцева** (Научно-исследовательский институт биомедицинской химии им. В.Н. Ореховича), члену-корреспонденту НАН Беларуси **Сергею Александровичу Усанову**, кандидату химических наук **Андрею Александровичу Гилепе**, кандидату химических наук **Наталье Владимировне Струшкевич** (Институт биоорганической химии НАН Беларуси) за цикл работ "Биохимия белков цитохром Р450-зависимых монооксигеназных систем";

в области технических наук — доктору технических наук — **Сергею Викторовичу Панину**, доктору технических наук **Борису Александровичу Люкшину**, кандидату физико-математических наук **Людмиле Александровне Корниенко** (Институт физики прочности и материаловедения СО РАН), члену-корреспонденту НАН Беларуси **Юрию Михайловичу Плескачевскому**, кандидату технических наук **Сергею Викторовичу Шилько**, доктору технических наук **Виктору Антоновичу Гольдаде** (Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого НАН Беларуси) за цикл работ "Функциональные материалы: мезомеханический анализ, таксономический прогноз, компьютерный дизайн структуры и перспективы создания умных материалов";

в области гуманитарных и социальных наук — доктору исторических наук **Михаилу Юрьевичу Мягкову**, кандидату исторических наук **Юрию Александровичу Никифорову**, доктору исторических наук **Олегу Александровичу Ржешевскому** (Институт всеобщей истории РАН), члену-корреспонденту НАН Беларуси **Александру Александровичу Ковалене**, **Ирине Юрьевне Воронковой**, доктору исторических наук **Алексею Михайловичу Литвину** (Институт истории НАН Беларуси) за монографию "Страна в огне. 1941–1945" в 3-х томах, 6 книгах.

ON AWARDING THE PRIZE OF THE RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES AND THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF BELARUS IN 2018

Ключевые слова: protein biochemistry; mesomechanical analysis, taxonomic forecast, computer structure design of functional materials; the Great Patriotic War of 1941–1945.