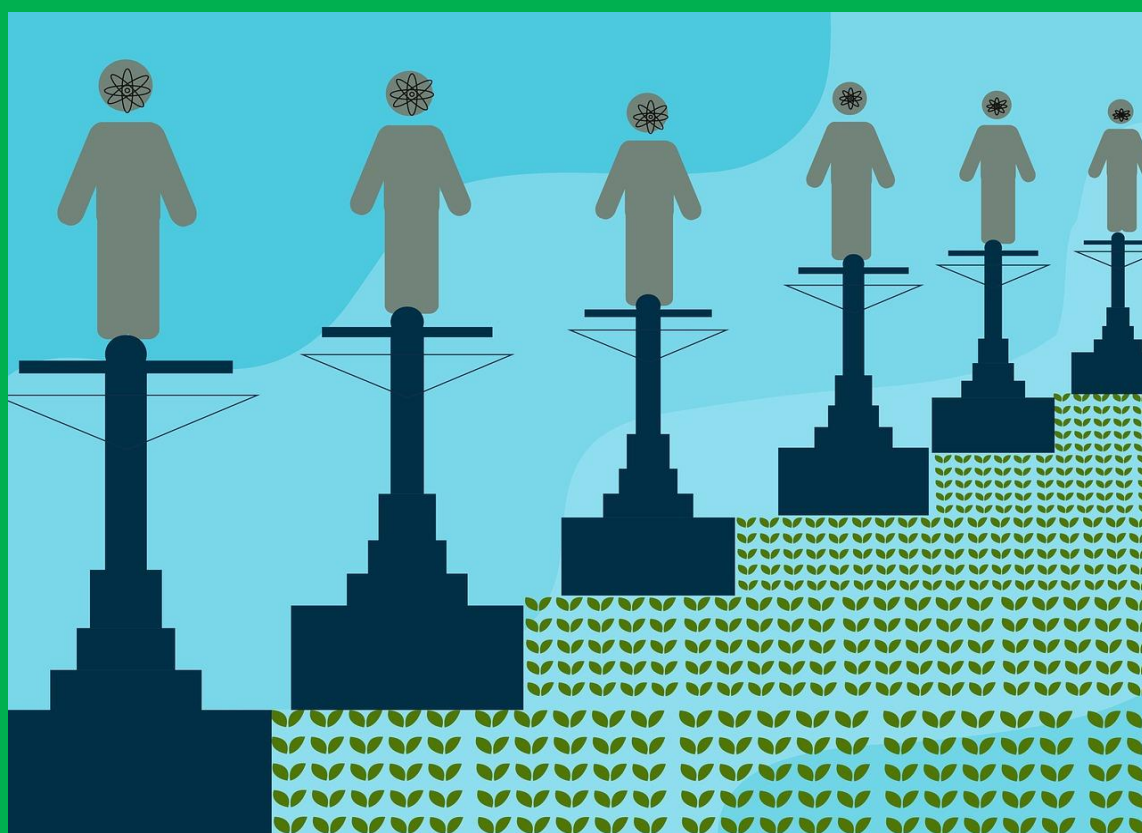




2019
№3(3)

Окружающая среда и энергосбережение

Journal of Environmental Earth and Energy Study (JEEES)



<http://www.jeees.ru>

ISSN 2658-6703
(Online)

Окружающая среда и энергосбережение

Journal of Environmental Earth and Energy Study (JEEES)

2019 №3(3)

Научный, образовательный, культурно-просветительский сетевой журнал
Scientific, educational, cultural and educational network Journal

Основан в 2018 году,
1-й номер вышел в январе 2019 г.
Выходит четыре раза в год
при научно-информационной поддержке
Географического факультета МГУ
имени М.В. Ломоносова.

Founded in 2018,
The 1st issue was released in January 2019.
Published four times a year with scientific and
information support
Geographical faculty of Lomonosov Moscow
State University.

Зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи,
информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор).

Свидетельство о регистрации ЭЛ № ФС 77 - 74521 от 7 декабря 2018 г.

Индексируется в Научной электронной библиотеке eLIBRARY.RU, Научной электронной библиотеке «КиберЛенинка», Public Knowledge Project, Open Archives Initiative, OpenAIRE



Главный редактор

Залиханов Михаил Чоккаевич, д.г.н., профессор,
академик РАН (МГУ им. М. В. Ломоносова).

Зам. главного редактора

Соловьев Александр Алексеевич, д.физ.-мат.н.,
профессор, академик РИА (МГУ им. М. В. Ломоносова).

Редакционная коллегия:

Безруких Павел Павлович, д.т.н., академик-секретарь
РИА (МЭИ)

Березкин Михаил Юрьевич, кандидат географических
наук, (МГУ им. М. В. Ломоносова).

Бушуев Виталий Васильевич, д.т.н., профессор (ОИВТ
РАН).

Гулев Сергей Константинович, д.ф.-м.н., профессор,
член-корреспондент РАН (ИО РАН).

Дегтярев Кирилл Станиславович, (МГУ им. М. В. Ломоно-
сова).

Добролюбов Сергей Анатольевич, д.г.н., профессор,
член-корреспондент РАН (МГУ им. М. В. Ломоносова).

Зайченко Виктор Михайлович, д.т.н., профессор (ОИВТ
РАН).

Залиханов Алим Михайлович, кандидат географических
наук, (МГУ им. М. В. Ломоносова).

Киселева Софья Валентиновна, к.физ.-мат. н. (МГУ им. М.
В. Ломоносова).

Красовская Татьяна Михайловна, д.г.н., профессор (МГУ
им. М. В. Ломоносова).

Моргунова Мария Олеговна, к.э.н. (KTH Royal Institute of
Technology, Sweden).

Нигматулин Роберт Искандрович, д.ф.-м.н., профессор,
академик РАН (ИО РАН).

Тикунов Владимир Сергеевич, д.г.н., профессор (МГУ им.
М. В. Ломоносова).

Показеев Константин Васильевич, д.физ.-мат.н., профес-
сор (МГУ им. М. В. Ломоносова).

Адрес редакции:

119991, г. Москва, Ленинские горы, д. 1, к. 19, НИЛ
возобновляемых источников энергии географического
факультета МГУ им. М.В.Ломоносова

Тел./ факс +7 (499) 939-42-57

e-mail: info@jeees.ru

Официальный сайт журнала

http://jeees.ru

Окружающая

среда и энерговедение. 2019 №3(3)

Научный, образовательный, культурно-просветительский
сетевой журнал (периодическое сетевое издание)

Редактор К.С.Дегтярев

Корректор Д.А.Соловьев

Верстка М.Ю.Березкин

Перевод на английский язык

К.С.Дегтярев

Подписан в свет 30.10.2019.

Издатель:

Закрытое акционерное общество "Глобализация и
устойчивое развитие. Институт энергетической стратегии"
125009, г. Москва, Дегтярный переулок, д. 9, офис 011.

Тел./факс: +7 (495) 229-4241 доб. 224.

E-mail: guies@guies.ru.

Перепечатка или воспроизведение материалов
номера любым способом полностью или по частям
допускается только с письменного разрешения Издателя.

© Редакция журнала «Окружающая
среда и энерговедение», 2019

Государственный Рубрикатор НТИ России

(ГРНТИ): 37; 39; 44; 45

Фото на обложке: Electric Smart City, pixabay.com

ISSN 2658-6703



9 772658 670003

Содержание

В.А. Бутузов

Российская геотермальная энергетика: анализ столетнего
развития научных и инженерных концепций..... 4

В.В. Бушуев

Электроэнергетика будущего как фактор активного развития
цивилизации.....22

В.М. Зайченко

Переход к энергоэффективной экономике:
проблемы и перспективы.....30

Ю.Н. Кучеров, В.В. Бушуев, А.В. Иванов, Д.А. Корев, С.А. Утц,
А.В. Шихина

Комплексное развитие новых технологий
энергожизнеобеспечения Smart Cities49

В.В. Саенко

Угольная отрасль России: вызовы и современные тенденции
развития.....70

О.А. Синюгин, М.Ю. Березкин, К.С. Дегтярев

Правовые проблемы «степени локализации» генерирующих
объектов ВИЭ97

Content

V.A. Butuzov

Russian geothermal energy: analysis of hundred development of
scientific and engineering concepts..... 4

V.V. Bushuev

The power industry of the future as a factor in the active
development of civilization.....22

V.M. Zaichenko

Transition to energy efficient economy:
problems and prospects.....30

Y.N. Kuchеров, V.V. Bushuev, A.V. Ivanov, D.A. Korev, S.A. Utz,
A.V. Sheikhina

Development of new technologies energy life support Smart
Cities49

V.V. Saenko

The coal industry in Russia: challenges and current development
trends70

O.A. Sinyugin, M.Yu. Berezkin, K.S. Degtyarev

The structure of the global lithium market as the main element in
energy storage.....97

УДК 93/94:620.92

Российская геотермальная энергетика: анализ столетнего развития научных и инженерных концепций

В.А. Бутузов ^[0000-0003-2347-9715]Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина, г. Краснодар,
350044, Россия

E-mail: butuzov@newmail.ru

Аннотация. Представлены данные по установленной мощности геотермальных электростанций (ГеоЭС), систем геотермального теплоснабжения в мире, потенциальные запасы российских геотермальных месторождений, максимальные объемы добываемых ресурсов. Указано на комплексный характер геотермальной энергетики, в которой работают геологи, гидрологи, геохимики, горные теплофизики и собственно энергетики. Выделена глубинная и поверхностная геотермия (до 400 м). Отмечены особенности собственно геотермии и петрогеотермии (тепло сухих горных пород). Дан анализ развития геотермии России с 1905 г. Представлен анализ результатов работы основных четырех советских геотермальных школ: московской, ленинградской, киевской, дагестанской. Описана советская структура управления разведкой и добычей геотермального теплоносителя, методология создания геотермальных систем теплоснабжения и примеры их успешной реализации. Указаны достижения основных современных организаций России по исследованиям проблем геотермии, созданию ГеоЭС и систем геотермального теплоснабжения, в том числе поверхностных и комбинированных (солнечно-геотермальных).

Ключевые слова: геотермия, скважины, месторождения, геотермальные электростанции, системы геотермального теплоснабжения, геотермальные циркуляционные системы, петрогеотермия, обустройство месторождений, реинжекция

1 Введение

По данным Всемирного геотермального конгресса (ВГК) 2015 г. [1] в мире эксплуатируются геотермальные электростанции (ГеоЭС) суммарной установленной мощностью 12,6 ГВт с ежегодной выработкой электроэнергии 74 тыс. ГВт·ч.

В зависимости от параметров геотермального теплоносителя различают следующие основные виды ГеоЭС: с одним расширением пара (сепарации) - 5 ГВт установленной мощности, на перегретом геотермальном паре - 2,9 ГВт установленной мощности; геотермальные бинарные ГеоЭС на низкотемпературном теплоносителе – 1,8 ГВт. Всего в мире работают 613 геотермальных энергоблоков, в том числе 286 бинарных, 167 с одним давлением сепарации, 68 с двумя давлениями сепарации. В России в настоящее время общая установленная мощность ГеоЭС составляет 82 МВт, в том числе 75 МВт с одним давлением сепарации, 5 МВт с противодавлением, 2 бинарных.

По данным последнего ВГК установленная тепловая мощность систем геотермального теплоснабжения в мире составила 70,3 ГВт при выработке тепловой энергии 163 ТВт·ч/год. В 42 странах мира с 2010 по 2014 г.г. было пробурено 2218 геотермальных скважин, в том числе 38,7% для теплоснабжения и 8,6 % для комбинированного теплоэлектроэнергоснабжения. В мире преобладают геотермальные системы теплоснабжения (ГСТ) с тепловыми насосами: 70,95 % по установленной мощности, 55,3 % по отпущенной тепловой энергии. Структура ГСТ мира с тепловыми насосами характеризуется следующими показателями установленной мощности / годового отпуска тепловой энергии, % геотермальные тепловые насосы – 70,95/55,3; бассейны – 13,0/20,31; отопление – 10,74/15,01; прочие – 5,31/9,38. Структура ГСТ без тепловых насосов соответственно: отопление – 44,74/45,43; теплицы – 36,98/33,58; прочие – 9,32/10,84 [2].

2 Геотермальное теплоснабжение

Геотермальное теплоснабжение в мире на втором месте, после солнечного, из всех возобновляемых источников энергии. Бурение геотермальных скважин и обустройство месторождений существенно отличаются от газовых и нефтяных. Объемы обратной закачки геотермальной воды кратно превосходят практикуемые в нефтедобыче. Геологические, гидрогеологические, теплофизические особенности геотермальных месторождений обуславливают специализацию соответствующих дисциплин. Разработка и сооружение наземных систем геотермального теплоснабжения должны учитывать стабильные температуры, большие дебиты, сложный химический и газовый состав геотермального теплоносителя. По источнику тепловой энергии различают глубинные (свыше 400 м) и поверхностные геотермальные системы теплоснабжения. Для первых источник энергии – тепло магмы Земли, для вторых – аккумулированное солнечное тепло и глубинное тепло Земли.

Россия обладает огромными запасами геотермальной энергии в Предкавказье, Западной и Восточной Сибири, на Камчатке, Курильских островах, Сахалине, Дальнем Востоке с расчетным суммарным дебитом 218 м³/сек. [3]. Ресурсная база геотермии СССР систематически исследовалась с 1954 г. В основе данных исследований работы геологов, гидрогеологов, горных теплофизиков, в результате которых составлена геотермальная карта СССР [4, 5]. По ряду причин не завершена разработка Генеральной схемы освоения ресурсов геотермальной воды в

СССР. Геотермальная карта России представлена в книге [7] (Рис. 1). Результаты опробования сотни тысяч пробуренных нефтяных, газовых и геотермальных скважин позволяют с достаточной степенью достоверности прогнозировать геотермальные ресурсы регионов России. По данным [7] в 11 регионах России (Дагестан, Чечня, Краснодарский, Ставропольский края, Адыгея, Карачаево–Черкессия, Кабардино–Балкария, Камчатка, Сахалин, Чукотка, Магаданская область) разведано 66 геотермальных месторождений с температурами на устье скважин от 40 °С до 300 °С с эксплуатационными запасами 315,23 тыс.м³/сут. при дебите 52,6 тыс.м³/сут. Результаты исследований и эксплуатации геотермальных месторождений, выполненных организацией Мингазпрома СССР, обобщены в Правилах разработки геотермальных месторождений [8]. В настоящее время установленная мощность российских систем геотермального теплоснабжения (СГТ) составляет 310 МВт с отпуском тепловой энергии 170 ГВт·ч/год [8].

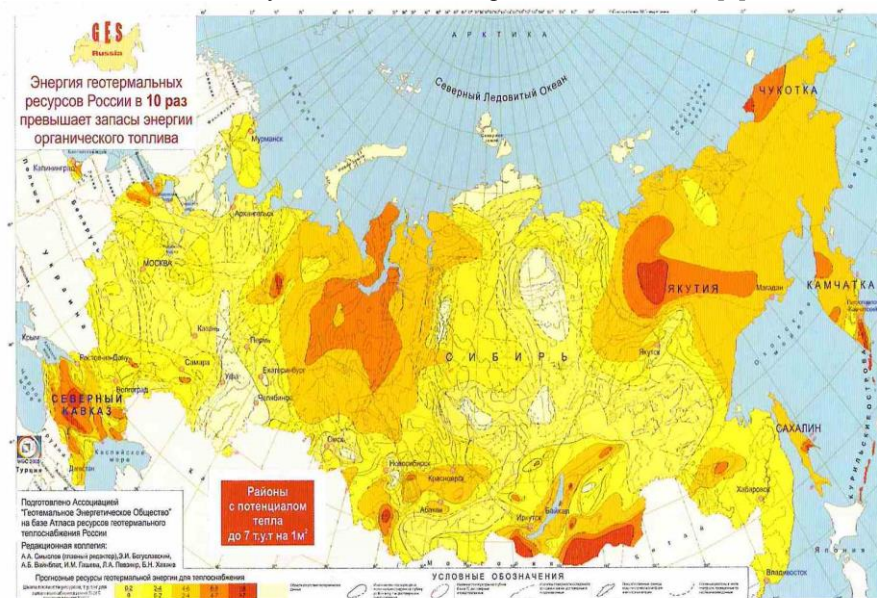


Рис. 1. Карта геотермальных ресурсов России

Геотермия как наука неразрывно связана с геологией и гидрогеологией. При разведке и добыче полезных ископаемых, нефти и газа исследуются также геотермические условия недр. Первым в России геологом, систематически исследовавшим геотермальные проблемы, был талантливый и незаурядный человек Л.А. Ячевский (1858–1916). В 1905 г. он публикует статьи по геотермии и становится членом Международной геотермической комиссии. В 1910 г. по его инициативе была организована постоянная геотермическая комиссия при Русском географическом обществе.

После Великой отечественной войны в министерстве геологии СССР был организован отдел геотермии, а в 1949 г. в Махачкале была пробурена первая геотермальная скважина, давшая промышленный дебит горячей воды. История геотермальных исследований на Камчатке образно описана В.И. Белоусовым (1936 г.р.). На своем сайте (<http://sites.google.com/site/geobelousov>), он разместил уникальные документы по истории геотермии в мире, СССР, на Камчатке. По его мнению, история геотермии Камчатки началась в 1948 г., когда инженер-теплотехник проектно-сметной конторы Главсахалинрыбпрома А.А. Гайваронский (1903–1971) обратился к И.В. Сталину с предложением о развитии геотермии на Камчатке. При поддержке академика Михаила Викторовича Кирпичева (1878–1955), выдающегося теплотехника и основателя советской научной школы котлостроения председатель правительства СССР В.М. Молотов даёт указание о начале геотермальных исследований на Камчатке. В 1954 г. была создана лаборатория по исследованию геотермальных ресурсов Института вулканологии СССР, а в 1956 г. были пробурены первые две разведочные скважины в Петропавловске-Камчатском. В 1966 г. на Камчатке в 300 км к югу от Петропавловска-Камчатского была построена первая в СССР Паужетская геотермальная электростанция (ГеоЭС) мощностью 5 МВт с турбинами Калужского турбинного завода (КТЗ). В настоящее время данная ГеоЭС – гарантирующий поставщик электроэнергии 4 поселков Усть-Большерецкого района с двумя турбинами мощностью по 6 МВт, произведёнными в СССР в 1940-м и в 2000 г. Неподалеку в 2014 г. построена единственная в России бинарная ГеоЭС мощностью 2.4 МВт. Вторая в СССР после Паужетской – Паратунская ГеоЭС была построена в 1967 г. в 70 км от г. Петропавловска-Камчатского у пос. Термальный. Впервые в мире по идее академика С.С. Кутателадзе (1914–1986) эта станция использовала промежуточное легкокипящее рабочее тело – фреон, который при температуре геотермальной воды 85°C превращался в пар и вращал турбину мощностью 600 кВт. Строительством и испытанием станции руководила ученица С.С. Кутателадзе к.т.н. В.Н. Москвичёва. Результаты работы ГеоЭС в течение 2000 ч подтвердили её проектные характеристики. В настоящее время оборудование станции демонтировано. На Курильском о-ве Кунашир у подножия вулкана в 1993 г. была установлена геотермальная энергоустановка “Омега” (КТЗ) мощностью 500 кВт, а в 2003 г. рядом были построены Менделеевская ГеоЭС с энергоустановками “Туман-2А” (КТЗ) мощностью 3.6 МВт, геотермальная станция теплоснабжения мощностью 18 МВт и геотермальный теплопровод в пос. Горячий Ключ протяжённостью 9 км. В настоящее время ведётся реконструкция ГеоЭС с установкой оборудования фирмы “ОРМАТ” (США). В 1999 г. в 110 км от Петропавловска-Камчатского под руководством д.т.н. О.А. Поварова была построена Верхне-Мутновская ГеоЭС мощностью 12 МВт с турбинами “Туман 4 К” (КТЗ). Особенностью данной станции стала модульность конструкции, что позволило построить её в кратчайшие сроки, а также применение воздушных конденсаторов. На основе успешного опыта эксплуатации Верхне-Мутновской ГеоЭС в 2003 г. была построена самая мощная в России Мутновская ГеоЭС мощностью 50 МВт с двумя турбинами К-25-06 (КТЗ).

В 1956 г. создаются лаборатория гидрогеологических проблем им. С.В. Саваренского в Москве (Ф.А. Макаренко), лаборатория геотермии Института физики Земли в Москве (И.Д. Дергунов), лаборатория гидрогеологических и геотермических исследований Института геологии Дагестанского филиала АН СССР в Махачкале (С.А. Джамалов). Результаты исследований были рассмотрены Академией наук СССР в 1956 г. на Первом Всесоюзном совещании по геотермии в Москве. Для координации исследований в 1961 г. в АН СССР организована комиссия по гидрогеологии и геотермии, которая в 1964 г. была преобразована в Научный совет по геотермальным исследованиям во главе с академиком А.Н. Тихоновым. В 1963 г. правительство СССР принимает постановление “О развитии работ по использованию в народном хозяйстве глубинного тепла Земли”, которым обязанность освоения тепловой энергии недр было возложено на Мингазпром СССР. В 1964 г. в Москве состоялось второе Всесоюзное совещание по геотермии, а на третьем Всесоюзном совещании в 1969 г. в Махачкале отмечалось, что геотермальным теплоснабжением в 7 городах было обеспечено 50 тыс. человек, 100 промпредприятий и 15 га теплиц. Геотермальными исследованиями в СССР в этот период занимались 64 организации.

3 Исследование проблем геотермии

Исследование геологических, гидрогеологических и теплофизических вопросов геотермии осуществлялось в четырёх основных научных школах: московской, ленинградской, киевской и дагестанской. В результате исследований Геологического института АН СССР (Ф.А. Макаренко, В.И. Кононов, М.Д. Хуторский, В.И. Дворов), Объединённого института физики Земли АН СССР (И.Д. Дергунов, Е.А. Любимова) были определены основные перспективные геотермальные месторождения страны.

Они, как правило, сопутствуют тектоническим разломам на границах плит, по которым раскалённая магма поднимается к поверхности Земли. В 1972 г. была опубликована Геотермическая карта СССР (под ред. Ф.А. Макаренко – 1906–1984). Исследования состояний и движений подземных вод от областей питания до мест разгрузки и моделирование геотермальных месторождений выполнили гидрогеологи института ВСЕГИНГЕО (к.г.-м.н. Б.Ф. Маврицкий, А.А. Шпак) [9]. Исследованиями передачи тепла от магматических очагов к горным породам, изменений теплового режима водонасыщенных пород при отборе и нагнетании геотермальной воды в массивах горных пород занимались горные теплофизики. В СССР лидером использования тепла сухих горных пород (петрогеотермия) был основатель ленинградской научной геотермальной школы д.г.-м.н. Ю.Д. Дядькин (1929–2002). В Ленинградском горном институте (ЛГИ) он разработал теоретические и экспериментальные основы использования глубинного тепла Земли [10], участвовал в разработке геотермального атласа СССР [9]. Большую роль в развитии геотермальных исследований имела организованная им в 1970 г. при ЛГИ Проблемная научно-исследовательская лаборатория горной теплофизики. Достойным преемником Ю.Д. Дядькина и лидером российской геотермии стал д.т.н.

Э.И. Богуславский (1934 г.р.) в монографии которого “Освоение тепловой энергии недр”, приведены результаты исследований геотермальных и петрогеотермальных месторождений. При этом анализируются проблемы во всём многообразии от математического моделирования процессов теплообмена в горных породах до экономики геотермального теплоснабжения. В настоящее время в России это единственная максимально информативная книга.

Киевская геотермальная школа была основана д.т.н. О.А. Кремнёвым (1919–1987). Совместно с д.т.н. А.В. Шурчковым он исследовал вопросы создания петрогеотермальных систем в пористых породах [11], геотермальных циркуляционных систем, технико-экономической оценки создания систем геотермального теплоснабжения с построением номограмм определения тепловой мощности скважины в зависимости от глубины, температуры и дебита, стоимости бурения скважин. Достойным преемником и главным специалистом геотермии в Украине в настоящее время является д.т.н. Ю.П. Морозов (1943 г.р.). В его последней книге “Добыча геотермальных ресурсов и аккумулярование теплоты в подземных горизонтах” [12] обобщён опыт работы киевской геотермальной научной школы. В мировой практике петрогеотермальные системы получили ограниченное применение. Основная проблема – нестабильность трещиноватости горных пород и соответственно дебитов скважин. В СССР имелся негативный опыт создания такой системы в г. Тырныауз (Кабардино-Балкария). На глубине 3.7 км температура пород составляла 200°C, давление нагнетания воды 60 МПа. После аварии эксперимент был прекращён [13].

В соответствии с Постановлением правительства СССР в 1963 г. бурение скважин, обустройство геотермальных месторождений в СССР осуществляло Министерство газовой промышленности. С 1966 г. по 1981 г. им было организовано 5 региональных Управлений по использованию глубинного тепла Земли: Кавказское (Махачкала), Северо-Кавказское (Грозный), Кубанское (Армавир), Грузинское (Тбилиси), Камчатское (Петропавловск-Камчатский). В задачу объединений входило бурение новых геотермальных, переоборудование нефтяных и газовых скважин, обустройство месторождений, добыча и реализация геотермальной воды. В 1981 г. на базе управлений, дополненных институтом ВНИПИ-геотерм в Махачкале организовано НПО “Союзбургеотермия”, на балансе которого было 250 геотермальных скважин. Первый эксплуатационный нормативный документ (Правила разработки месторождений теплоэнергетических вод) разработан Мингазпромом СССР в 1985 г. Действующие Правила разработки месторождений теплоэнергетических вод ПБ 07-599-03 утверждены в 2003 г.

Проекты геотермальных систем теплоснабжения с 1965 г. выполнял Центральный НИИ экспериментального проектирования инженерного оборудования (ЦНИИЭПИО). Книга ведущего специалистом СССР по геотермальному теплоснабжению к.т.н. Б.А. Локшина (1937–1970) “Использование геотермальных вод для теплоснабжения” [14] не потеряла актуальности до настоящего времени. Б.А. Локшин впервые ввёл понятие коэффициента эффективности геотермального теплоснабжения, разработал первый проектный нормативный документ СССР “Инструкция по комплексному использованию геотермальных вод для теплоснабжения”.

доснабжения зданий», ВСН 36-77. Большой вклад в геотермальное теплоснабжение внёс непосредственный руководитель Б.А. Локшина – к.т.н. А.З. Ивянский (1925–2006). Их достойным преемником стал к.т.н. В.И. Красиков (1949 г.р.). Он разработал Нормы проектирования ВСН 56-87 “Геотермальное теплохладоснабжение жилых и общественных зданий” [15]. ЦНИИЭПИО разработал проекты геотермального теплоснабжения Махачкалы, Каспийска, Избербаша, Тернаира, Черкесска, Грозного, Тобольска, десятки проектов геотермального теплоснабжения отдельных объектов. Под руководством В.И. Красикова были разработаны проекты геотермального теплоснабжения г. Усть-Лабинска и пос. Розового Краснодарского края, г. Вранье в Сербии.

До 1985 г. проектированием геотермальных систем электро и теплоснабжения также занималось Новосибирское отделение института “Теплоэлектропроект”, которым разработаны схемы геотермального энергоснабжения Тюменской области, г. Петропавловск-Камчатский и г. Южно-Сахалинск.

В СССР по геотермальной энергетике главной организацией Министерства энергетики страны, координатором всех работ по геотермии по линии Государственного комитета по науке и технике СССР был Энергетический институт им. Г.М. Кржижановского, где с 1962 г. работала лаборатория геотермальной энергетики и Дагестанский филиал института. В числе работ ЭНИИа следует отметить координацию работ по созданию Мутновской ГеоЭС (утверждение запасов, разработка ТЭО строительства), то же по Океанской ГеоЭС на острове Итуруп (Курилы), Каясулинской ГеоЭС в Ставропольском крае (бурение скважин, полевые испытания, технический проект станции), создание геотермальных систем теплоснабжения на Камчатке, в Дагестане, Грузии. Возглавлял лабораторию геотермальной энергетики ЭНИИ к.т.н В.А. Васильев. [16].

В девяностые годы научная и инженерная геотермальная школа была создана выдающимся учёным, специалистом-турбинистом, прекрасным организатором д.т.н. проф. О.А. Поваровым (1938–2006). Трижды Лауреат Госпремий Олег Алексеевич в 1992 г. организовал в Московском энергетическом институте (МЭИ) Научно-исследовательский и учебный центр геотермальной энергетики (НУЦ Гео). В 1994 г. О.А. Поваров создаёт АО “Геотерм”, в которой он был научным руководителем, вице-президентом компании. В сложных экономических условиях 90-х гг. под руководством О.А. Поварова разрабатывались новые геотермальные турбины, сепараторы и другое оборудование для самой мощной в России Мутновской геотермальной электростанции мощностью 50 МВт, которая введена в эксплуатацию в 2003 г. (Рис. 2). Начатое О.А. Поваровым дело по созданию геотермальной энергетики продолжили его ученики, и в том числе д.т.н. Г.В. Томаров (1957 г.р.), к.т.н. А.И. Никольский (1945 г.р.), к.т.н. В.Н. Семёнов (1948 г.р.), к.т.н. А.А. Шипков (1975 г.р.) [17]. В 2003 г. впервые в России творческому коллективу во главе с О.А. Поваровым была присуждена Госпремия РФ за “Фундаментальные исследования в области геотермальной энергетики и создание на их основе ГеоЭС”. Многолетний опыт исследований, разработки оборудования и создания российских геотермальных электростанций был обобщен и представлен в единственной в России монографии по данной тематике “Геотермальная энергетика”. В области геотермального теплоснабжения учёными в

составе АО «Наука», АО «Геотерм-М», ООО «Геотерм», НУЦ «ГеоМЭИ» были разработаны проекты геотермального теплоснабжения, включая ТЭО геотермального теплоснабжения городов Лабинска, Усть-Лабинска, Анапы, Апшеронска, Горячего Ключа, пос. Мостовского, Розового Краснодарского края, а также создана система геотермального теплоснабжения пос. Розового Краснодарского края мощностью 5 МВт.

Исследования по поверхностной геотермии в России были развёрнуты в девяностые годы прошлого века в Санкт-Петербургском горном государственном университете СПГГИ (ТУ) под руководством д.т.н. Э.И. Богуславского. Были разработаны обзорные карты распределения температур на глубинах 40, 100, 200 м всей страны, а также выполнена оценка ресурсов поверхностной геотермии всей территории страны. Исследовались совместное влияние ландшафтно-климатических, гидрогеологических факторов с одной стороны и геотермических свойств пород с другой стороны. Карту температурного режима «нейтрального слоя» территории России составили СПГГИ (ТУ) и ФГУП НПП «Недра» под общим руководством А.А. Смыслова [6]. Исследованием теплового режима скважин глубиной до 400 м занимается в Киеве д.т.н. Ю.П. Морозов [12]. В Махачкалинском институте проблем геотермии д.т.н. А.Б. Алхасовым выполнены всесторонние исследования, в том числе тепловых режимов поверхностной геотермии. Разработаны методики определения температуры теплоносителя на выходе скважины, оптимального расхода теплоносителя в скважине, расстояния между скважинами и темпов восстановления теплового режима пласта [13]. Отличительной особенностью исследований д.т.н. Г.П. Васильева (1955 г.р.) является изучение теплообмена в горных породах с учётом фазового перехода состояния жидкости, а также большое число построенных объектов в средней полосе России с использованием скважин поверхностной геотермии с тепловыми насосами [18].



Рис. 2. Мутновская геотермальная электростанция.

В развитии геотермии в России уникален вклад Дагестана. Основателем дагестанской геотермальной научной школы является чл.-корр. АН СССР, д.ф.-м.н. Х.И. Амирханов (1907–1986), возглавлявший с 1950 по 1984 г. Институт физики и Президиум Дагестанского филиала АН СССР. По его инициативе в 1956 г. в Институте геологии была создана лаборатория гидрогеологических и геотермических исследований, которую возглавил к.т.н. С.А. Джамалов (1903–1980). В 1980 г. на базе данной лаборатории был создан Институт проблем геотермии (ИПГ) Дагестанского филиала АН СССР во главе с д.г.-м.н. В.В. Суетновым (1931–1990), работавшего там до 1983 г. Его преемником до 1987 г. был д.г.-м.н. М.К. Курбанов (1933–2011). Коллеги отмечают огромную роль в становлении и развитии ИПГ д.ф.-м.н. М.-К.М. Магомедова (1936–2002), руководившего институтом 15 лет (1987–2002). В 2002 г. директором ИПГ стал сотрудник института со дня основания д.т.н. А.Б. Алхасов (1952 г.р.), успешно руководивший институтом также 15 лет (2002–2017). Под его руководством ИПГ превратился в главную геотермическую научную организацию России. В его составе 101 сотрудник, в том числе 22 доктора и 30 кандидатов наук. В структуре института 8 лабораторий, в том числе энергетики, геотермальных энергетических ресурсов, математического моделирования геотермальных объектов, комплексного освоения ВИЭ. В настоящее время А.Б. Алхасов возглавляет Дагестанский филиал ОИВТ РАН, заведует кафедрой ВИЭ Дагестанского государственного университета и научной школой “Актуальные проблемы освоения возобновляемых энергоресурсов им. Э.Э. Шпильрайна”. Геотермальное теплоснабжение в Дагестане начато в 1949 г., когда по предложению С.А. Джамалова в центре Махачкалы на базе старой нефтяной скважины № 27 были построены общественные бани, а в 1951 г. – первая в СССР специально на термальные воды была пробурена скважина № 160, давшая воду из караганских отложений с дебитом 2000 м³/сут с температурой на устье 63°C и избыточным давлением 15 бар. С вводом в эксплуатацию этой скважины было доказано большое практическое значение термальных вод. Поселки Редукторный, ТЭЦ и ряд других промышленных объектов г. Махачкалы до сих пор используют эту скважину для отопления, горячего водоснабжения и розлива минеральной воды. В 1953 г. от скважин № 98 и № 175 геотермальным отоплением были обеспечены здания Института физики и Института геологии Дагестанского филиала АН СССР. С.А. Джамалов одним из первых предложил простые в исполнении и надёжные в эксплуатации геотермальные панельные системы отопления. Развитие идей С.А. Джамалова по геотермальному теплоснабжению в Дагестане осуществили его соратники и ученики: Ю.И. Султанов, Г.Б. Бадавов, П.Н. Ригер, А.Ш. Мейланов, А.Н. Абдулдаев. В 1964 г. в г. Махачкале была организована первая в СССР Северо-Кавказская разведочная экспедиция по бурению и реконструкции нефтегазовых скважин на термальные воды, которая в 1966 г. была преобразована в Кавказское промысловое управление по использованию глубинного тепла Земли Мингазпрома СССР. В Дагестане пробурено 139 тыс. погонных метров геотермальных скважин. Здесь к.т.н. Х.Х. Натановым впервые были разработаны методы обработки геотермальной воды для предотвращения солеотложений и коррозии. В 1982 г. в Махачкале тем же министерством было организовано научно-производственное объединение

(НПО) «Союзбургеотермии» под руководством видного нефтяника М.Г. Алиева (1928–1987). В его состав помимо Кавказского промыслового управления входили институт по использованию глубинного тепла Земли (Грозный), Кубанское (Армавир), Грузинское, Камчатское промысловое управление (Петропавловск-Камчатский). НПО «Союзбургеотермия» до 1987 г. выполняло научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы, разработку генеральных схем освоения геотермальных месторождений, бурение новых геотермальных и восстановление нефтяных и газовых скважин, добычу геотермальной воды. ВНИПИГеотерм разработал Генеральную схему освоения геотермальных вод СССР до 2000 г. В России по разведанным запасам и добыче геотермальной воды лидирует Дагестан. Открыто 12 месторождений с запасами 82 тыс. м³/сут, пробурено и восстановлено из ликвидированного нефтяного фонда более 130 скважин. С 1966 г. успешно работают системы геотермального теплоснабжения городов Махачкала, Кизляр Избербаш, других населенных пунктов. Из недр добыто более 200 млн м³ термальной воды, отпущено потребителям 10 млн Гкал тепловой энергии, сэкономлено более 2 млн т.у.т [16]. Эксплуатируются в основном 4 геотермальных месторождения: Махачкала – Тернаирское (48 скважин); Кизлярское (17 скважин); Избербашское (16 скважин); Каякентское (4 скважин). Самые глубокие (5500 м) в мире геотермальные скважины были пробурены на Тарумовском месторождении (Курбанов М.К. Гидротермальные и гидроминеральные ресурсы Восточного Кавказа и Предкавказья. М.: Наука. 2001). Температура на глубине 5500 м – 198°C, на устье скважин 170°C. Дебиты пароводяной смеси до 7000 м³/сут. при давлении на устье 7 МПа. В каждом кубометре воды содержится до 4.5 м³ газа. Общая минерализация – до 200 г/л. При преобладании ионов хлора и натрия высоко содержание лития, рубидия, цезия, йода, брома, стронция. В настоящее время эксплуатацией геотермальных месторождений в Дагестане занимается ООО «Геоэкопром». Опыт геотермального теплоснабжения Дагестана в книге [19] был обобщен сотрудниками Дагестанского филиала ЭНИН (Махачкала). Это вторая в СССР книга после монографии Б.А. Локшина [14], не потерявшая актуальности до настоящего времени. Авторами отмечены следующие проблемы: малая степень использования теплового потенциала скважин, отсутствие водоподготовки, низкая рентабельность, несовершенство схем геотермального теплоснабжения. Разработаны методика оценки экономической целесообразности геотермального теплоснабжения и структуры себестоимости термальной воды. Сотрудник Дагестанского филиала ЭНИН со дня основания, ученик С.А. Джамалова – Г.Б. Бадавов в настоящее время продолжает работать в Институте проблем геотермии. Впервые в отечественной практике в 1987–1989 гг. Г.М. Гайдаровым была разработана и апробирована на Кизлярском и Тернаирском месторождениях геотермальная самоциркуляционная система (ГСС), в которой вода от продуктивной скважины поступает в нагнетательную за счёт эффекта термолифта-термопресса (разность плотностей геотермальной воды).

ИПГ ДНЦ РАН внёс значительный вклад в развитие геотермических исследований в России. ИПГ – единственный институт в Российской академии наук, за-

нимающийся проблемами освоения геотермальной энергии. Сотрудниками института опубликовано более 40 монографий по различным аспектам оценки, изучения и освоения геотермальных ресурсов разного энергетического потенциала.

На Северном Кавказе, по данным д.т.н. А.Б. Алхасова [13], на втором месте по эксплуатационным запасам геотермальных месторождений – Чеченская республика – 65 тыс. м³/сут с 14 месторождениями. В 1994 г. годовая добыча геотермальной воды составила 8.8 млн м³ в год. Уникально Ханкальское месторождение в 10 км от Грозного, на котором с 1932 по 1989 г. было пробурено 42 геотермальные скважины. На этом месторождении в 1967 г. эксплуатировалось 36 скважин и добывалось 7 млн м³ геотермальной воды в год. В промышленной эксплуатации XIII пласт этого месторождения находится с 1974 г. Уникальность этого месторождения состоит в высоких энергетических характеристиках (температура на устье 95°C, дебит каждой скважины до 3000 м³/сут), низкой минерализации – около 2 г/л, а также хорошей приёмистости пластов для реинжекции. Эксплуатацией этого месторождения занималось Северо-Кавказское управление по использованию глубинного тепла Земли. В 1981 г. на этом месторождении впервые в СССР были выполнены экспериментальные работы по реинжекции. Геотермальная вода из 5 продуктивных скважин с температурой 90–95°C после охлаждения в теплицах до 35–45°C закачивалась в 4 скважине того же пласта. Успешная реинжекция осуществлялась с 1981 по 1986 г. В 1981 году институт ЦНИИЭПИО (Москва) разработал технико-экономический доклад о геотермальном теплоснабжении г. Грозного с реинжекцией отработанного теплоносителя.

В 1991–1995 гг. в ходе чеченской войны система геотермального теплоснабжения была разрушена, однако скважинный фонд находится в удовлетворительном состоянии. Возрожденная в 2013 г. чеченская геотермальная научная школа была создана в Грозненском государственном нефтяном техническом университете им. академика М.Д. Миллионщикова, под руководством д.т.н. М.Ш. Минцаева в сотрудничестве с Государственным геологическим музеем РАН им. В.И. Вернадского в Москве (к.г.-м.н. С.В. Черкасов). В 2015 г. на Ханкальском месторождении для теплоснабжения 3 га теплиц была построена геотермальная система теплоснабжения мощностью 8.7 МВт с реинжекцией отработанного теплоносителя (Рис. 3). Математическое моделирование разработки месторождения, оптимальное проектирование скважин, обустройство месторождения, центрального геотермального теплового пункта обеспечило успешную реализацию данного проекта. Продуктивная скважина на глубине 900 м с погружным насосом обеспечивает на устье дебит без насоса – 75 м³/ч, с насосом – 210 м³/ч при температуре 95°C. На расстоянии 10 м от устья продуктивной скважины была пробурена реинжекционная скважина методом наклонного бурения на глубину около 1000 м. Расстояние между забоями продуктивной и реинжекционной скважинами составило 500 м. Приёмистость реинжекционной скважины составила без насоса 15–22 м³/ч, при работе насоса – 201 м³/ч.

Краснодарский край на втором месте в России после Дагестана по добыче и использованию геотермальной воды. В советское время реализовалась краевая комплексная межведомственная программа. Бурение новых скважин выполнялось по заявкам местных администраций. В Краснодарском крае разведано 16

геотермальных месторождений, на которых пробурено 74 скважины глубиной 1700–2900 м с температурами 75–120°C и дебитами 500–4000 м³/сут. Расчётная тепловая мощность данных месторождений составляет 238 МВт с возможной выработкой тепловой энергии 834 МВт•ч/год и замещением органического топлива 103 тыс. т.у.т [20]. Было начато сооружение реинжекционной системы Мостовского месторождения – 17 скважин (пробурены реинжекционные скважины, построено здание насосной, укомплектовано оборудование). С началом перестройки в стране реализация этого проекта была приостановлена. Для разведки новых геотермальных месторождений использовались материалы инициаторов геотермии – сотрудников института «КраснодарНИПИнефть» к.г.-м.н. В.С. Котова и к.г.-м.н. В.Н. Матвиенко, которыми в 1956–1963 гг. в 200 нефтяных скважинах были выполнены измерения характеристик термальных вод и на их основе районирования края по перспективности геотермальных ресурсов.



Рис. 3. Геотермальная станция Ханкальского месторождения.

В настоящее время эксплуатируется 12 геотермальных месторождений, из них по пяти утверждены запасы 27750 м³/сут. Четыре геотермальных месторождения простаивают без потребителей. Наиболее крупные – действующее Мостовское месторождение (17 скважин, 75°C, 45 МВт); Вознесенское и Южно-Вознесенское (15 скважин, 100°C, 50 МВт). Минерализация геотермальной воды этих месторождений не превышает 2 г/л и по основным показателям соответствует стандарту питьевого водоснабжения В 1985 г. годовая добыча геотермальной воды в Краснодарском крае достигла 8.5 млн м³. Отапливались жилые дома 7 населённых пунктов и 30 га теплиц. Классическим примером каскадного срабатывания теплового потенциала геотермальной воды была Мостовская система. Геотермальный теплоноситель вначале поступал на отопление зданий, в теплицы для

выращивания помидоров, огурцов, лимонов. Далее с температурой 30°C геотермальная вода поступала в рыбопродукционные пруды. Теплоснабжение жилых и социальных объектов пос. Мостовского обеспечивалось от 3 геотермальных скважин с дебитами на устье 1500 м³/сут и температурой 75°C. На основе двух из них в 1982–1987 гг. под руководством д.т.н. В.А. Бутузова (1949 г.р.) была разработана и построена геотермальная система теплоснабжения мощностью 2 МВт с утилизацией тепла отработанной геотермальной воды тепловыми насосами мощностью 600 кВт. Данная система была дополнена пиковой котельной мощностью 5 МВт. В 1987 г. институтом ЦНИИЭПИО (к.т.н. В.И. Красиков) совместно с институтом Гипрокоммунэнерго (Москва) была разработана схема перспективного развития теплоснабжения пос. Мостовского на 10 лет, которая предусматривала подключение на отопление и ГВС поселка дополнительно 5 скважин и создание комбинированной системы централизованного теплоснабжения с пиковой котельной и тепловыми насосами общей мощностью 19.7 МВт. В 2004 г. фирмой «Геотерм-М» (Москва) под руководством д.т.н. Г.В. Томарова было разработано технико-экономическое обоснование геотермального теплоснабжения на базе 14 скважин с учётом жилых и социальных объектов посёлка, тепличного комплекса, рыбопродуктивного хозяйства, бассейнов общей мощностью 47 МВт.

В 2003 г. в соответствии с Программой энергосбережения Краснодарского края геотермальная энергетика получила новый импульс развития. Были разработаны технико-экономические обоснования геотермального теплоэлектроснабжения городов Лабинска, Усть-Лабинска, Горячего Ключа, Анапы, Апшеронска, посёлков Мостовского и Розового. При этом ТЭО геотермального электротеплоснабжения г. Лабинска (установленная тепловая мощность 100 МВт, электрическая – 2.5 МВт) прошёл экспертизу Всемирного банка. ТЭО геотермального электротеплоснабжения г. Усть-Лабинска (установленная тепловая мощность 42 МВт, электрическая – 2 МВт) был выполнен на основании гидрогеологического прогноза по материалам 27 газовых скважин глубиной до 3500 м. В соответствии с утверждённым ТЭО геотермального теплоснабжения пос. Розового в 2012 г. под руководством д.т.н. В.А. Бутузова была построена I очередь геотермального теплоснабжения тепловой мощностью 5 МВт (Рис. 4). Особенность данной системы – создание геотермально-солнечной системы, в которой гелиоустановка мощностью 110 кВт в летнее время обеспечивает горячее водоснабжение жилых и социальных объектов с возможностью остановки геотермальной скважины для восстановления пластового давления. В Краснодарском крае с 1961 г. работал единственный в России Троицкий завод по извлечению йода из геотермальной воды. В настоящее время его деятельность приостановлена.

В соответствии с Атласом энергетического потенциала геотермальные ресурсы Крыма оценены в 775 тыс. т.у.т в год при выработке тепловой энергии 9011 млн кВт•ч/год. Геологоразведочные работы в этом регионе начались в семидесятые годы, было пробурено 26 геотермальных скважин и построено 12 систем теплоснабжения с дуплетными скважинами (продуктивная и реинжекционная), в том числе 5 геотермально-циркуляционных систем (ГЦС) в Красногвардейском, 5 – в Сакском и Джанкойском районах – 2 ГЦС с дебитом каждой скважины от 670 до 4925 м³/сут с температурой 60–87°C при глубине скважин от 1000 до 2300

м. Разработкой проектов геотермальных систем теплоснабжения Крыма занимались Институт технической теплофизики АН УССР и Институт возобновляемой энергетики НАН Украины. Первая ГЦС была построена в 1986 г. в с. Ильинка Сакского района. Она проработала 3 года. Более 10 лет (1993–2003) работала ГЦС тепловой мощностью 2 МВт в с. Янтарное Красногвардейского района. Уникальная геотермальная система энерго- и теплоснабжения работала с 1993 по 2017 г. в с. Медведовка Джанкойского района. Тепловая мощность ГЦС – 1 МВт, электрическая мощность газогенератора на отсепарированном из геотермальной воды метане составила 60 кВт, мощность пикового газового котла на метане – 100 кВт. Расстояние между продуктивной и реинжекционной скважинами 400 м. Реинжекционный насос при расходе 25 м³/ч обеспечивал давление 1.5 МПа. В настоящее время геотермальные системы теплоснабжения в Крыму не эксплуатируются.



Рис. 4. Геотермальная станция поселка Розовый.

4 Выводы

1. Краткий обзор столетнего опыта работы российских научных и инженерных геотермальных школ показал, что до 1990 г. они были мировыми лидерами по всему спектру достижений: геологические исследования, методы моделирования и разведки, создание первой в мире бинарной геотермальной электростанции, строительство крупных централизованных систем теплоснабжения. Уникальная советская модель экономики позволяла на основе результатов научных исследований развернуть широкое практическое использование геотермальных ресурсов.

2. После 1992 г. достижения геотермальной науки в России оказались не востребованными. Практически прекращены масштабные геологические исследования, моделирование разработки месторождений, их разведка. Проводится единичное бурение скважин. Достижения начала 2000-х по созданию российской геотермальной школы турбинного и другого геотермального оборудования не получили должного развития. Уникальный бинарный энергоблок установленной мощностью 2.5 МВт на Камчатке до настоящего времени не введен в эксплуатацию. Работы единственного в России Института проблем геотермии РАН в Махачкале не востребованы в должной мере. Тысячи геотермальных скважин в России, каждая из которых в современных ценах стоит 60–100 млн руб. используются нерационально в основном на теплоснабжение построенных в советское время систем отопления населенных пунктов и теплиц.

3. С 90-х годов прошлого века в России стала развиваться поверхностная геотермия с использованием тепловых насосов для теплоснабжения. Выполнены масштабные исследования геотермальных условий на глубинах до 400 м территории страны, Северо-Кавказского и Московского регионов. Разработаны методики и сооружены объекты для использования тепла поверхностных слоев Земли с использованием тепловых насосов.

4. В современных российских условиях для развития геотермии в первую очередь необходимо выполнить научные исследования по анализу как советского, так и зарубежного опыта, которые по плечу только РАН. Экономическая целесообразность развития геотермии в новых российских экономических условиях с учетом перспективного топливно-энергетического баланса и задач развития арктических территорий страны, необходимо тщательно изучать.

Литература

1. Томаров Г.В. Шипков А.А. Всемирный геотермальный конгресс WGC-2015// Теплоэнергетика. 2016. № 8. С. 77-80.
2. Бутузов В.А., Амерханов Р.А., Григораш О.В. Геотермальное теплоснабжение в мире и в России: состояние и перспективы// Теплоэнергетика. 2018. № 5. С. 45-49.
3. Маврицкий Б.Ф., Локшин Б.А., Вольфенфельд А.В. Прогнозные запасы термальных вод СССР и возможные объемы внедрения геотермального теплоснабжения. – М.: Наука 1973. С. 87-97.
4. Алхасов А.Б. Возобновляемые энергетика. – М.: Физматиз. 2010. 256с.
5. Макаренко Ф.А. и др. Геотермическая карта СССР в масштабе 1:5000000. Объяснительная записка. – М.: Наука. 1972. 39с.
6. Богуславский Э.И. Освоение тепловой энергии недр. М.: Спутник. 2018. 448с.
7. Алхасов А.Б. Освоение низкопотенциального геотермального тепла. – М.: Физматлит. 2017. 277с.
8. Правила разработки месторождений теплоэнергетических вод ПБ-07-599-03 Госгортехнадзор России [электронный ресурс] www.goshelp.ru дата обращения 20.03.2019 г.
9. Атлас карт ресурсов термальных вод СССР / Министерство геологии СССР. ВСЕГИНГЕО. Л. 1984. 15 л.
10. Дядькин Ю.Д. Разработка геотермальных месторождений. М.: Недра. 1989.

11. Кремнев О.А., Журавленко В.Я., Шурчков А.В. К вопросу освоения тепла глубинных горных пород / Изучение и использование глубинного тепла Земли. М.: Наука. 1973.
12. Морозов Ю.П. Добыча геотермальных ресурсов и аккумулярование теплоты в подземных горизонтах. Киев: Наукова Думка, 2017.
13. Алхасов А.Б. Геотермальная энергетика: проблемы, ресурсы, технологии. М.: Физматлит, 2008.
14. Локшин Б.А. Использование геотермальных вод для теплоснабжения. М.: Стройиздат. 1974.
15. Нормы проектирования. ВСН 56-87. Геотермальное теплоснабжение жилых и общественных зданий. М.: Стройиздат. 1989.
16. Васильев В.А., Поваров О.А., Разаренов В.П. Состояние и перспективы развития геотермальной энергетики в России / Проблемы развития геотермальной энергетики в странах СНГ и деятельность международного Гео-фонда // Материалы семинара 25–26 ноября 2003 г. М.: ЭНИН им. Г.М. Кржижановского, 2003.
17. Геотермальная энергетика / Г.В. Томаров, А.И. Никольский, В.Н. Семенов, А.А. Щипков. М.: Теплоэнергетик. 2015.303с.
18. Васильев Г.П. Теплоснабжение зданий и сооружений с использованием низкопотенциальной тепловой энергии поверхностных слоев Земли. ООО «Печатный салон «Граница»» М., 2006. 176 с.
19. Геотермальное теплоснабжение / А.Г. Гаджиев, Ю.И. Султанов, П.Н. Ригер и др. М.: Энергоатомиздат, 1984. 120с.
20. Бутузов В.А., Томаров Г.В. Геотермальное энергоснабжение южного региона России. Ресурсы, использование, перспективы. Saar-Brucken. Deutchland: Lambert Academie Publishing, 2012. с.242.

Reference

1. Tomarov G.V. Shipkov A.A. World Geothermal Congress WGC-2015 // Thermal Engineering. 2016. No. 8. P.77-80.
2. Butuzov V.A., Amerkhanov R.A., Grigorash O.V. Geothermal heat supply in the world and in Russia: state and prospects // Thermal engineering. 2018. No. 5. C45-49.
3. Mavritsky B.F., Lokshin B.A., Wolfenfeld A.V. Forecasted reserves of thermal waters of the USSR and possible volumes of introduction of geothermal heat supply. –М.: Science 1973. P.87-97.
4. Alkhasov A.B. Renewable energetics.-М.: Fizmatiz. 2010.256 p.
5. Makarenko F.A. et al. Geothermal map of the USSR on a scale of 1: 5,000,000. Explanatory Note-M.: Science. 1972. 39p.
6. Boguslavsky E.I. Development of thermal energy of the subsoil. М.: Sputnik. 2018.448 p.
7. Alkhasov A.B. The development of low-potential geothermal heat. -М.: Fizmatlit. 2017. 27p.
8. Rules for the development of heat and water deposits PB-07-599-03 Gosgortekhnadzor of Russia [electronic resource] www.goshelp.ru appeal date 03/20/2019
9. Atlas of maps of resources of thermal waters of the USSR / Ministry of Geology of the USSR. VSEGINGEO. L. 1984. 15 l.
10. Dyadkin Yu.D. Development of geothermal deposits. М.: Subsoil. 1989.
11. Kremnev O.A., Zhuravlenko V.Ya., Shurchkov A.V. To the question of the development of heat of deep rocks / Study and use of the deep heat of the Earth. М.: Science. 1973.

12. Morozov Yu.P. The extraction of geothermal resources and the accumulation of heat in underground horizons. Kiev: Naukova Dumka, 2017.
13. Alkhasov A.B. Geothermal energy: problems, resources, technologies. M.: Fizmatlit, 2008.
14. Lokshin B.A. Use of geothermal water for heat supply. M.: Stroyizdat. 1974.
15. Design standards. BCH 56-87. Geothermal heat and cold supply of residential and public buildings. M.: Stroyizdat. 1989.
16. Vasiliev V.A., Povarov O.A., Razarenov V.P. The State and Prospects of the Development of Geothermal Energy in Russia / Problems of the Development of Geothermal Energy in the CIS Countries and the Activities of the International Geo-Fund // Materials of the seminar November 25–26, 2003 M.: ENIN im. G.M. Krzhizhanovsky, 2003.
17. Geothermal energy / G.V. Tomarov, A.I. Nikolsky, V.N. Semenov, A.A. Schipkov. M.: Heat power engineering. 2015. 303 p.
18. Vasiliev G.P. Heat and cold supply of buildings and structures using low-potential thermal energy of the surface layers of the Earth. LLC "Printing Salon" Border "" M., 2006. 176 p.
19. Geothermal heat supply / A.G. Gadzhiev, Yu.I. Sultanov, P.N. Ri-ger et al. M.: Energoatomizdat, 1984. 120 p.
20. Butuzov V.A., Tomarov G.V. Geothermal energy supply of the southern region of Russia. Resources, use, prospects. Saar-Brucken. Deutschland: Lambert Academie Publishing, 2012. p. 244.

Russian geothermal energy: analysis of hundred development of scientific and engineering concepts

V.A. Butuzov

Kuban State Agrarian University, Krasnodar, 350044, Russia

E-mail: butuzov@newmail.ru

Abstract. The data on the installed capacity of geothermal power plants (GeoES), geothermal heat supply systems in the world, potential reserves of Russian geothermal deposits, maximum volumes of extracted resources are presented. The complex nature of geothermal energy is pointed out, in which geologists, hydrologists, geochemists, mining thermal physicists, and power engineers themselves work. Deep and surface geothermies (up to 400 m) have been identified. The features of geothermy and petrogeothermy proper (heat of dry rocks) are noted. An analysis of the development of geothermy in Russia since 1905 is presented. An analysis of the results of the work of the main four Soviet geothermal schools is presented: Moscow, Leningrad, Kiev, Dagestan. The Soviet management structure for exploration and production of geothermal coolant, a methodology for creating geothermal heat supply systems and examples of their successful implementation are described. The achievements of the main modern organi-

zations of Russia on the study of geothermal problems, the creation of geo-electric power stations and geothermal heat supply systems, including surface and combined (solar-geothermal), are indicated.

Keywords: geothermy, wells, fields, geothermal power plants, geothermal heat supply systems, geothermal circulation systems, petrogeothermy, field development, reinjection

УДК 620.9 (470+571)

Электроэнергетика будущего как фактор активного развития цивилизации

В.В. Бушуев^[0000-0001-9288-4699]Объединенный институт высоких температур РАН (ОИВТ РАН),
г. Москва, 125412, Россия

E-mail: vital@guies.ru

Аннотация. В статье тезисно представлены основные взгляды автора на развитие энергетики за 50-летним горизонтом (от фантазий – к цели и целевому видению).

Ключевые слова: энергетика будущего, ресурсно-инновационное развитие, инновационная энергетика, цивилизация.

1 Введение

Человек многому научился у природы, создавая по ее образу и подобию соответствующие технические средства для повышения собственной производительности и расширения возможностей собственной жизнедеятельности. Энергию ветра и воды, мускульной силы животных, а затем энергию пара и электроэнергии он приспособил для облегчения своих физических усилий, а затем и количественной производительности используемых машин и других устройств.

В XX-м веке человек стал внедрять в технологические устройства элементы бионики – материалы, конструкции и схемы, заимствованные у живых биологических существ: обтекаемые корпуса, элегазовое оборудование, светодиоды, химические и биохимические реагенты, средства визуализации, включая 3D-модели и многое другое [1,2].

В XXI веке предстоит поставить на службу инновационной энергетики новой цивилизации аналоги мыслительных процессов, позволяющие сделать процесс проектирования и управления энергоинформационными системами творческим актом, уходя из простой деятельности в сторону комплексной, общей, зачастую вербальной, оценки живучести и эффективности систем жизнеобеспечения и жизнедеятельности, адаптации используемых алгоритмов к текущей и развивающейся ситуации, работая на опережение по сравнению с электромеханическими

и даже электромагнитными процессами в системе и ее звеньях, а так же самообучения и саморазвития (в функциональном и структурном плане) единого комплекса «человек-машина» [2–4].

2 Электроэнергетика будущего и развитие цивилизации

Алгоритм поведения человека в интеллектуальной системе содержит много уровней, соответствующих широкому спектру поведения «умного» и активного функционера.

В первую очередь это касается использования ноосферных знаний природы и ноосферного умопостигаемого опыта человеческой деятельности по проведению энергетического форсайта – формированию сначала умозрительного, а затем и модельного представления об энергетике будущего как социогуманитарной сферы жизнедеятельности цивилизации и всего человечества.

При этом мысль (идея) этой перспективной системы включает в себя не только нынешнее представление о физической силовой энергетической системе, но и представление о новой роли электроэнергетики в жизни общества с учетом экологических, информационных и интеллектуальных требований общества к будущей социотехносфере, где «три У»- мф электроэнергетики (универсальность, удобство и управляемость) делает ее новым потенциальным и активным фактором жизнедеятельности[5].

Естественно, электроэнергетика развивается не на пустом месте, поэтому творческое начало человека заключается не только в том, чтобы придумать и создать что-то принципиально новое, а и в том, что бы сделать обобщения и выводы на основе анализа функционирования и развития существующих и модернизируемых установок и систем.

При этом особая роль отводится способности человека не просто количественно оценить характеристики и показатели действующей электрической системы, а в обобщенном качественном (вербальном) виде оценить степень соответствия системы ее текущему и перспективному представлению и целевому видению.

Так, те же оценки живучести энергообъединения включают в себя не только величину аварийно отключаемой нагрузки и среднее время восстановления режима, а соответствие возможного каскадного развития аварий и принимаемых мер по их предотвращению социально обусловленным нормативам и требованиям, которые еще предстоит выработать с точки зрения той роли, которая отводится электроэнергетике в жизни общества.

При формировании структуры будущей электроэнергетики важно оценить социальные и геополитические последствия централизации электроэнергетики, в том числе создание межгосударственных объединений и развитие децентрализованных систем с распределенной генерацией, автономными схемами энергоснабжения и активным потребителем.

К сожалению, подобные подходы к оценке эффективности различного вида энергетических систем как на стадии их функционирования, так и на стадии их

проектирования пока не имеют четких критериев и показателей. Поэтому, говоря об инновационной электроэнергетике – 21, необходимо вести речь не только (и даже не столько) о новых технологических устройствах и средствах управления, а об организационных инновациях инфраструктуры будущей энергетики. Опыт централизованных ЕЭС СССР в новых социально-экономических и политически-рыночных условиях мало применим, но и развал всего энергообъединения на отдельные автономные системы мало эффективен. Поэтому востребован именно новый подход к разумному построению энергоинформационных систем типа ЕЭС – 2.0, сочетающим в себе рыночные и централизованные способы формирования энергетики будущего.

Другим аспектом новой роли человека в интеллектуальной социо- и техно-среде становится его взаимодействие со средствами информации и оценки состояния системы и отдельных видов оборудования (с возможным использованием алгоритмов дооценки состояния (при недостатке текущей информации), а так же роль человека как интегратора оценки действий различных устройств контроля и автоматики [6].

Опасения в возможной ускоренной роботизации процессов управления в электроэнергетике основаны на том, что человек пока что воспринимается как пассивное звено энергоинформационных систем. При этом роботы – автоматы с заложенными в них алгоритмами адаптации и самообучения действительно без контроля со стороны человека могут «вырваться на свободу» и при малейших сбоях или непредусмотренных ситуациях развитие процессов может пойти в нежелательном (сверхаварийном) направлении. Оператор в человеко-машинных энерго-информационных системах не должен дублировать автоматику, а видя на основе своего более общего представления о возможном и нежелательном развитии ситуации, должен не просто блокировать действия роботов-автоматов, а взять на себя «ручное, но интеллектуальное» управление системой. Оператор является контролером САУ, оценщиком ситуации и блокиратором недопустимых действий системы.

Излишнее увеличение количества функций, передаваемых автоматике, грозит появлением в системе новой угрозы кибернетической безопасности. Решение этой проблемы связано не с дальнейшим введением все новых автоматических устройств, которые могут порождать собственную проблему неустойчивости оперативно-информационной системы. Обилие автоматики не улучшает надежность функционирования системы. В человеко-машинных системах необходимо по-иному выстраивать отношения интеллектуала-оператора и робота-автомата.

Их взаимоотношения могут и должны строиться на основе когнитивных (умопостигаемых) представлений о процессах в САУ, аналогичных процессам в человеческом мозге по распознаванию образов, и стратегических действиях в случаях развития опасных ситуаций.

По сути дела, человеко-машинная система должна по своей структуре и функциональному поведению соответствовать нейронной сети. Подобно человеческому мозгу такая сеть должна опираться на индивидуальную либо коллективную базу знаний, помогающую правильно оценивать ситуацию и прогнозировать

ее развитие, формировать оценку рисков поведения роботов-автоматов и возможных траекторий предотвращения каскадного развития аварий в самой электрической системе и в ее оперативно-информационной модели.

Нейронные сети являются аналогом средств реализации когнитивной функциональности человеко-машинных систем [7].

Поведение человека в энерго-информационных системах – это и процесс его эволюции, когда на смену дуальному (черно-белому) представлению (да-нет, включено-выключено) поведения нейронной сети творческая деятельность человека расцветает палитрой возможностей и принимаемых решений.

Реальный мир, так же как и техносреда, которая приобретает черты интеллектуальности только благодаря наличию в ней творческого человека, построен по принципу триалектики. На смену дуальных понятий «да-нет», «хорошо-плохо» приходит третья составляющая, оценивающая выход из противопоставления двух начал.

Эволюция – это не просто единство и борьба противоположностей, это еще и путь преодоления этих противоположностей. Дилемма «централизация-децентрализация», «большая и малая энергетика», как и релейный принцип работы большинства устройств автоматики в реально развивающемся мире везде замещается на третье начало, где выход – путь по которому должна последовать эволюция. Если ранее и сам человек и создаваемые им системы развивались по пути дифференциации знаний и функций (в левом полушарии), либо образного представления (в правом полушарии), то эволюция самого человека в интеллектуальной техносреде идет по пути нейронных сетей, увязывающих обе половины человеческого мозга в единое целое.

По этому же пути должна пойти и эволюция человеко-машинных систем в общую интеллектуальную техносреду [2]. Но этому надо учить не только машину, но и самого человека.

3 Энергетика – за 50-летним горизонтом (от фантазий – к цели и целевому видению)

Энергетика в современном виде существует немногим более 100 лет. И план ГОЭЛРО, принятый в 1920 г., в свое время казался фантазией, а его вдохновителя Г. Уэллс назвал «кремлевским мечтателем». Но жизнь показала, что, объединив мечту и государственную энергетическую политику, мы получили новую энергопромышленную цивилизацию, позволившую стране перейти от ручного крестьянского плуга к уникальным фабрикам электричества и мощным энерго-металлургическим и энерго-промышленным комплексам.

И на новой энергетической основе страна не только выиграла «войну моторов» во время ВОВ, но и проложила дорогу в Космос, оставаясь ядерной военной и гражданской державой.

Сегодня развитие электроэнергетики требует нового организационно-технологического подхода, ибо будущее страны – это социогуманитарная (по цели) и энерго-информационная (по средствам) цивилизация. Каков будет конкретный

облик будущей энергетики – сегодня предсказать трудно и даже невозможно, ибо темпы технологического развития, тем более в сочетании с информационным обновлением на основе интеллектуальных человеко-машинных систем все более и более ускоряются.

И все же заглядывать за полувековой горизонт – не только нужно, но и можно. Нужно – потому, что в силу инерционности масштабного развития электроэнергетики то, что будет составлять основу новой энергетической цивилизации, через полвека должно пройти путь промышленного освоения, а перед этим – стадию пилотных проектов, а главное – организационно-технологический форсайт. Можно – потому что общие принципы развития любых социотехнических систем, в том числе и электроэнергетики, определяются общими законами энергологии, справедливыми как для энергетики самого человека, так и для инновационных энергоинформационных систем новой цивилизации.

Поэтому, говоря об инновационной энергетике – 21, в данной работе отражены как ожидаемые в ближайшие 15-20 лет (до 2035 г., в соответствии с новой Энергетической стратегией России) информационно-технологические решения, так и «прорывные» организационно-технологические инновации, которые в этот период еще только будут рассматриваться в виде ожидаемых форсайтных предположений [8].

К числу таких «прорывных» решений, радикально изменяющих облик будущей энергетики, следует, в первую очередь, отнести как космическую энергетику, энергетику экстремальных состояний и новую энерго-информационную структуру «умной энергетики» (Smart Energy).

Эта инфраструктура будет развиваться на основе, как минимум, трех принципиально новых подходов:

- Она будет не радиально-кольцевой, с явно выраженными крупными центрами генерации и потребления, а ячеистой (распределенной), обладающей большей надежностью и живучестью и отражающей необходимость сочетания электрических связей большой и малой мощностей, централизованных и децентрализованных систем, традиционной топливной (в первую очередь газовой) и нетрадиционной возобновляемой энергетики. Эта сеть, по аналогии с информационными интернет-сетями, будет формироваться структурно как «энерго-нет»

- Не следует ожидать даже на столь отдаленный период появления каких-либо принципиально новых энерго-источников, а также замены существующую генерацию.

Даже если будут осуществлены научно-технологические «прорывы» в области термоядерной или космической энергии большой мощности, они не смогут решить проблему комплексной электрификации страны, где будут зоны с высокой и низкой концентрацией нагрузки.

Более перспективным представляется развитие исследований и пилотных проектов по малой атомной энергетике, включая микроисточники на радиоактивных изотопах (карманные атомные батарейки).

Качественно новыми источниками энергии могут стать топливные (электрохимические), а так же биоэнергетические элементы, обеспечивающие широкий

спектр новых энергетических услуг, в том числе для тригенерации – одновременного производства электроэнергии, тепла и пресной воды.

- Новая инфраструктура не будет однородно сетевой, а обязательно будет включать в себя различные накопители, преобразователи частоты и напряжения, быстроредействующие контакторы с ограничителями восстанавливающегося напряжения, импульсные установки, позволяющие использовать у потребителя не только постоянный и переменный (50, 60 или 400 Гц) ток, но и энергопотоки с большей упорядоченностью (лазерные, направленно-взрывные, на основе изменения фазо-частотных характеристик системы).

Это тем более важно, что будущая инфраструктура будет интегрировать не только региональные, но и межгосударственные объединения, не только физические, силовые, но и информационные потоки энергии, а так же рыночные связи, посредством которых могут формироваться энергообъединения нового типа ЕЭС-2.0.

В составе энергетической инфраструктуры найдут применение смешанные коммуникации (трубопроводного, железнодорожного и электросетевого типа). В составе нового объединения перспективными станут и коммуникации с трансформируемыми видами передаваемой энергии (водно-энергетические связи, водородные кабели, энергоемкие металло-керамические провода и конденсаторы).

Энерго-информационная инфраструктура, объединяющая с помощью новых связей «большую» и «малую» энергетику, комплексную генерацию и активного потребителя, станет не просто увязывать все элементы в одно целое, но и позволит формировать саморазвивающуюся и самообучаемую электроэнергетику, обеспечивающую потребителя не только достаточными (в количественном и качественном выражении) поставками энергии и широким спектром новых энергетических услуг.

Инфраструктура будет не только адаптивно встраивать новые технологические решения и установки. Она по принципу направленной генной инженерии будет формировать требования к новым звеньям энергоинформационной системы, обеспечивая при этом повышение общей эффективности всей системы.

Определяющим при этом станет новая роль человека в такой энергетической системе, который придает ей черты «умной» (а не просто роботизированной) интеллектуальной системы, направленной на обеспечение жизнедеятельности нового социо-гуманитарного общества.

Поэтому одной из важных задач формирования инновационной электроэнергетики – 21 становится задача формирования самого человека нового типа – не просто квалифицированного специалиста, инженера широкого профиля, но и человека-творца, умеющего мечтать о будущем и последовательно стремиться к его осуществлению.

Благодарность. Исследование выполнено в рамках Госзадания ОИВТ РАН АААА-А16-116051810068-1.

Литература

1. Бушуев В.В., Первухин В.В., Соловьев Д.А. Энергетические истоки Евразийской цивилизации. - Сер. Энергетика в глобальной системе природа-общество-человек. Москва: ИЦ «Энергия», 2018. 198 р.
2. Prostejovsky A.M. et al. The future role of human operators in highly automated electric power systems // *Electr. Power Syst. Res. Elsevier*, 2019. Vol. 175. P. 105883.
3. Бушуев В.В., Первухин В.В. Энергетический потенциал новой цивилизации и геополитика // *Академия энергетики*. № 4(66). P. 4–10.
4. Бушуев В.В. и др. Перспективы и тенденции ТЭК // *Экологический вестник России*. 2017. № 12. P. 12–22.
5. Батенин В.М., Бушуев В.В., Воропай Н.И. Инновационная электроэнергетика – 21. Москва: ИЦ «Энергия», 2017. 584 р.
6. Директор Л.Б., Зайченко В.М., Майков И.Л. Интеллектуальные системы управления автономными энергетическими комплексами в составе локальных распределительных сетей малой энергетики // *Известия РАН*. 2012. P. 38–48.
7. Каменев А.С., Королёв С.Ю. Нейромоделирование как идеология и инструмент интеллектуализации энергоинформационных сетей. Москва: ИЦ «Энергия», 2012. 146 р.
8. Бушуев В.В. Основные положения Форсайта развития электросетевого комплекса России на ближайшие 15 лет // *Окружающая среда и энергосодержание*. 2019. № 1. P. 11–17.

Reference

1. Bushuev V.V., Pervukhin V.V., Soloviev D.A. Energy sources of the Eurasian civilization. - Ser. Energy in the global system nature-society-man. Moscow: IC Energia, 2018.198 p.
2. Prostejovsky A.M. et al. The future role of human operators in highly automated electric power systems // *Electr. Power Syst. Res. Elsevier*, 2019. Vol. 175. P. 105883.
3. Bushuev V.V., Pervukhin V.V. The energy potential of a new civilization and geopolitics // *Academy of Energy*. No. 4 (66). P. 4-10.
4. Bushuev V.V. and others. Prospects and trends of the fuel and energy complex // *Ecological Bulletin of Russia*. 2017. No 12. P. 12–22.
5. Batenin V.M., Bushuev V.V., Voropay N.I. Innovative electric power industry - 21. Moscow: IC Energia, 2017. 584 p.
6. Director LB, Zaichenko V.M., Maykov I.L. Intelligent control systems for autonomous energy complexes as part of local distribution networks of small energy // *News of the Russian Academy of Sciences*. 2012. P. 38–48.
7. Kamenev A.S., Korolev S.Yu. Neuromodeling as an ideology and tool for the intellectualization of energy-information networks. Moscow: IC Energia, 2012. 146 p.
8. Bushuev V.V. The main provisions of the Foresight of the development of the electric grid complex of Russia for the next 15 years // *Environment and Energy*. 2019. No. 1. P. 11–17.

The power industry of the future as a factor in the active development of civilization

V.V. Bushuev

Joint Institute for High Temperatures of the Russian Academy of Sciences (JIHT RAS),
125412, Izhorskaya, 13/2, Moscow, Russia

E-mail: vital@guies.ru

Abstract. This article presents the main views of the author on the development of energy beyond the 50-year horizon (from fantasy – to the goal and the target vision).

Keywords: electric power industry of the future, resource-innovative development, innovative electric power industry, civilization.

Acknowledgement. The study was performed in the framework of the State Mission of the Institute of High Temperatures RAS AAAA-A16-116051810068-1.

УДК 620.92

Переход к энергоэффективной экономике: проблемы и перспективы

В.М. Зайченко^[0000-0002-5979-4234]

Объединенный институт высоких температур Российской академии наук (ОИВТ РАН),
г. Москва, 125412, Россия

E-mail: zaitch@oivtran.ru

Аннотация. В статье рассматриваются возможности перехода экономики России на энергоэффективный путь развития, как основное направление выхода из кризиса. Показано, что автономная энергетика, основанная на использовании местных топливных ресурсов и отходов полностью соответствует требованиям, предъявляемым к современным инновационным технологиям. Одним из определяющих направлений в обеспечении энергоэффективной экономики является разработка, производство и широкое практическое использование отечественных средств автономной энергетики. Особое место в автономных системах энергообеспечения должны играть системы, работающие на местных топливных ресурсах, в качестве которых основными являются древесные отходы, торф, сельскохозяйственные отходы, ТБО. Организация промышленного производства отечественных газопоршневых электростанций и мини-ТЭЦ внесёт существенный вклад в развитие автономной энергетики.

Ключевые слова: энергоэффективная экономика, ВИЭ, автономная энергетика, ТБО, мини-ТЭЦ, вторичные энергоресурсы, переработка отходов

1 Введение

Энергоэффективное хозяйствование при открытой рыночной экономике является важнейшим фактором повышения конкурентоспособности российских товаров и услуг и жизненного уровня населения. По удельным показателям потребления энергоресурсов мы значительно отстаем от индустриально развитых стран. Сложившаяся ситуация во многом объясняется объективными причинами. Долгое время у нас отсутствовали рыночные механизмы в экономике, стоимость

энергоресурсов определялась, исходя из плановых прогнозов развития экономики, при этом имеющиеся в нашей стране крупнейшие в мире запасы топливно-энергетических ресурсов представлялись нам легкодоступными и неисчерпаемыми [1]. Перевод экономики на энергоэффективный путь развития реализуется во всех индустриально развитых странах. В этой области накоплен значительный опыт, в котором, конечно, отражаются некоторые национальные особенности, но всегда обеспечение энергоэффективности связано с развитием энергосбережения – рациональным расходованием топливно-энергетических ресурсов во всех производственных сферах и с использованием новых методов получения энергии, так называемых альтернативных источников, в первую очередь возобновляемых, и местных топливно-энергетических ресурсов.

2 Разработка программ реализации энергосберегающих мероприятий для крупных потребителей энергетических ресурсов

За последние годы в ОИВТ РАН был выполнен целый ряд работ по проведению энергообследования и разработке программ энергосбережения следующих предприятий [2]:

- Городская клиническая больница №4 (Москва);
- Городская клиническая больница №81 (Москва);
- Ракетно-космический завод ГКНПЦ им. М.В. Хруничева (Москва);
- ОКБ «Салют» ГКНПЦ им. М.В. Хруничева (Москва);
- ОАО «Москвич» (Москва);
- п/п «Моспищекомбинат» ОАО «Русский продукт»;
- п/п «Супермак» ОАО «Русский продукт»;
- Специальная астрофизическая обсерватория РАН (пос. Н.Архыз, Карачаево-Черкесия);
- ОАО «МЭЛЗ» (Москва);
- ОАО «Завод №411 ГА» (Минводы);
- АО «ОКБ Сухого» (Москва);
- Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН (Москва);
- Объединенный институт высоких температур РАН (Москва);
- Сосногорский газоперерабатывающий завод ОАО «Севергазпроом» (Ухта);
- ФГУП «Центр Келдыша» (Москва);
- Институт биоорганической химии им. М.М.Шемякина РАН (Москва);
- Московский завод автотракторного электрооборудования №1 (АО «АТЭ-1»);
- Магнитогорский металлургический комбинат и т.д.

В рамках разработки и реализации программ энергосбережения были разработаны типовые технические решения по оптимизации различных систем энергопотребления и распределения энергии. Значительный опыт в реализации про-

грамм энергосбережения накоплен к настоящему времени и в других организациях, работающих в этой области. Научных, инженерных проблем с разработкой и внедрением программ реализации энергосберегающих мероприятий нет. Есть много примеров успешного внедрения передовых энергосберегающих технологий, позволивших получить значительный материальный эффект, в том числе реализованных ОИВТ РАН [3]. Сюда может быть отнесена реализация программы энергосбережения, в течение ряда последних лет осуществляемая при поддержке РЭК Московского правительства на ФГУП ГКНПЦ им. М.В. Хруничева.

Существующий опыт разработки и реализации энергосберегающих программ свидетельствует о том, что около половины потенциальных возможностей энергосбережения в России приходится на системы теплоснабжения, потребляющие около половины энергии. Максимальный экономический эффект по сокращению затрат на энергоресурсы может быть получен при выполнении реконструкции систем теплоснабжения крупных потребителей топливно-энергетических ресурсов.

Большие непроизводительные затраты энергии в системах теплоснабжения крупных потребителей тепловой энергии, в основном, обусловлены следующими причинами:

- гидравлика тепловых сетей промышленных предприятий полностью разрегулирована. Настройка гидравлики сетей, выполненная при их монтаже, не соответствует фактическим схемам настоящего времени;
- в связи с изменением структуры и объемов производства изменились потребные тепловые нагрузки отдельных абонентов сети;
- появились новые абоненты.

Имеющийся опыт функционирования сетей аналогичной сложности показывает, что автоматическая регулировка сети только на уровне крупных абонентов приводит к существенному снижению расхода тепловой энергии и повышению комфортности рабочих мест.

Это было подтверждено в процессе разработки и эксплуатации автоматизированной системы оптимизации распределения тепловых нагрузок (далее Система) на ФГУП ГКНПЦ им. М.В. Хруничева [4]. Система обеспечивает регулирование параметров теплоснабжения в соответствии с наружной температурой на каждом абоненте, включая снижение отопительной нагрузки в нерабочее время. На дисплее Центрального пульта управления (ЦПУ) информация представляется в виде мнемосхем, графиков, диаграмм и отчетных таблиц. Система автономна, работает полностью в автоматическом режиме, не требует постоянного присутствия персонала. Как показывает анализ, по своим функциональным возможностям и коммерческой эффективности Система, внедренная на ФГУП ГКНПЦ им. М.В. Хруничева, превосходит многие зарубежные аналоги.

Разработанная система регулирования параметров теплоснабжения обеспечивает высокую финансово-коммерческую эффективность за счет экономии топливно-энергетических ресурсов и высокие доходы в бюджеты всех уровней.

Основные узлы системы оптимизации распределения тепловых нагрузок ФГУП ГКНПЦ им. М.В. Хруничева, которые могут использоваться в качестве

типовых при оптимизации систем теплоснабжения разной сложности для потребителей различного назначения, представлены на рис. 1.



Рис. 1. Структурная схема системы оптимизации

Система, внедренная на ФГУП ГКНПЦ им. М.В. Хруничева является прототипом высокоэффективного управления параметрами теплоснабжения на крупных потребителях тепловой энергии, которыми могут стать промышленные предприятия, системы ЖКХ, административные, медицинские, учебные учреждения и т.д.

Использование Системы позволило сократить теплоснабжение в различных корпусах предприятия от 6,5 до 17,9%. Средневзвешенное снижение теплоснабжения по предприятию составило 12,6%, что привело к соответствующему снижению потребления природного газа в котельной предприятия. Без учета снижения электропотребления сетевыми насосами, сокращения тепловых потерь в сетях, снижения выбросов в атмосферу и т.д., в предположении, что положительным эффектом от внедрения Системы является только экономия природного газа в котельной РКЗ, были выполнены расчеты финансово-коммерческой эффективности внедрения Системы на предприятии.

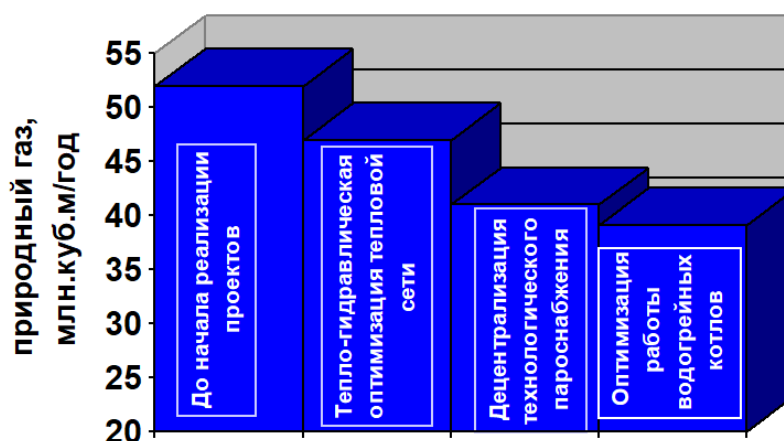


Рис. 2. Снижение потребления природного газа на ФГУП ГКНПЦ им. М.В. Хруничева при реализации разработанного комплекса энергосберегающих мероприятий

Экономическая эффективность использования Системы автоматического регулирования параметрами теплоснабжения на ФГУП ГКНПЦ им. М.В. Хруничева, параметры которой были определены при выполнении проекта и подтверждены в ходе эксплуатации, находится на высоком уровне:

- чистая прибыль, обеспечиваемая Системой в течение срока ее эксплуатации, составит 383,8 млн. руб., что в 9,2 раза превышает средства, вкладываемые в ее создание;
- чистый дисконтированный доход (NPV) составляет 182,6 млн. руб., что обеспечивает дисконтированный индекс доходности, равный 5,37;
- рентабельность вложений в систему (R) составляет 26,8%;
- внутренняя норма доходности (IRR), равная 28,4%, гораздо выше реальных ставок дисконтирования;
- дисконтированный срок окупаемости, соответствующий периоду полного возврата вложенных средств, равен 3,7 года – гораздо меньше срока службы Системы (25 лет);
- доход Федерального бюджета от отчислений в периоды сооружения и эксплуатации Системы – 94,4 млн. руб., доход консолидированного бюджета г. Москвы – 81,0 млн. руб.

На рис. 2 представлены данные по снижению потребления природного газа на ФГУП ГКНПЦ им. М.В. Хруничева при реализации энергосберегающих мероприятий в различных энергетических системах предприятия: и оптимизации тепловой сети при переходе на децентрализованное пароснабжение, и оптимизации работы водогрейных котлов.

При тиражировании технических решений, разработанных применительно к ФГУП ГКНПЦ им. М.В. Хруничева, необходимые затраты будут меньше, чем при разработке и первоначальном внедрении, т.е. рентабельность и доходность

от реализации энергосберегающих мероприятий увеличится, а срок окупаемости сократится.

3 Техничко-экономические аспекты разработки и практического использования новых методов распределенной энергетики

В современных условиях значительную роль в повышении энергоэффективности всех сфер экономической деятельности могут сыграть автономные системы получения энергии, работающие на местных и возобновляемых источниках. Интерес к альтернативным источникам энергии стремительно растет во всем мире. По оценкам аналитиков европейского сообщества доля энергии, полученная от возобновляемых ресурсов, в общем топливно-энергетическом балансе европейских государств за ближайшие тридцать лет превысит 40% и будет увеличиваться в дальнейшем. Таким образом, будет решена проблема энергетической безопасности европейских стран, приостановлено разрушительное воздействие топливно-энергетического комплекса на окружающую среду, созданы необходимые условия для дальнейшего улучшения условий жизни населения. Однако, большинство так называемых новых и возобновляемых источников энергии в настоящее время стоят дороже, чем традиционные, базирующиеся на использовании органических топлив, и требуют дотаций из бюджета. Это необходимо для того, чтобы сделать для покупателя равными цены на энергию, получаемую по новым и традиционным технологиям.

Европейские планы развития альтернативных методов получения энергии составлялись во время устойчивого роста цен на нефтепродукты. В силу последних событий, уверенности в том, что возобновляемые источники энергии, разрабатываемые на базе существующей научной и технологической платформы, в обозримой перспективе станут конкурентоспособными с традиционными топливно-энергетическими ресурсами, становится меньше. Кризис – это всегда концентрация усилий и средств на главных направлениях. Не оглядываясь на существующие западные преференции на использование возобновляемых источников энергии, нам необходимо определить в какой степени использование новых или альтернативных источников энергии может быть выгодным для нашей страны. Безусловно, в этой деятельности мы не должны опираться на дотируемые из бюджета технологии. Отечественная научная школа в состоянии разработать новые альтернативные методы получения энергии, обеспечивающие конкурентоспособность создаваемых технологий по отношению к технологиям, использующим органические ископаемые топлива.

Планы западных компаний по развитию альтернативных методов получения энергии, в основном, диктовались следующими причинами. Во-первых, стремлением обеспечить собственную энергетическую безопасность за счёт использования альтернативных методов получения энергии и уменьшения зависимости от поставок энергоресурсов с Ближнего Востока, отношения с которым в течение

многих веков оставляют желать лучшего, и из традиционно непонятной для Запада России. Во-вторых, это вполне понятное желание бизнес-структур воспользоваться бюджетными средствами под предлогом необходимости национальной самообеспеченности в энергоресурсах и улучшения экологической ситуации, что и обеспечило успешное лоббирование интересов бизнеса.

Наша страна обладает самыми большими в мире запасами природной биомассы. На территории РФ сосредоточено около четверти имеющихся в мире ресурсов древесины и около 45% мировых запасов торфа. По существующим оценкам ежегодный прирост торфа в нашей стране оценивается в 260...280 млн. тонн, и только 1,1...1,2% от этого количества добывается и используется. Ресурсы торфа в России превышают суммарные запасы нефти и газа и уступают только запасам каменного угля. Именно на этих ресурсах должна строиться политика нашего государства в области возобновляемой энергетики. Принятие дотационных схем при использовании новых и возобновляемых источников энергии в значительной степени оказывает негативное влияние на уровень разработок в этом направлении. Если заранее известно, что разрабатываемые технические решения не должны быть конкурентоспособными по отношению к существующим, то это значительно упрощает задачу. В этом случае нет необходимости поиска новых фундаментальных закономерностей в определении параметров взаимодействия энергии и вещества, необходимых при разработке новых методов и схем получения энергии. Это проще и дешевле, чем пытаться разработать и построить схему на базе ранее неизвестных закономерностей, обеспечивающих получение новых качественных эффектов. С другой стороны, есть мнение, что рост цен на природные ресурсы будет оказывать большее влияние на традиционные технологии, чем на альтернативные.

- При этом надо иметь в виду, что практически для всех видов альтернативных методов получения энергии уже сегодня есть свои ниши, где они могут быть выгоднее, чем традиционные технологии. В основном это касается энергообеспечения локальных, обособленных потребителей. В этом случае использование автономных возобновляемых источников, как правило, связано с меньшими затратами, чем подключение к централизованной энергосистеме.
- Сравнение экономических параметров альтернативных и традиционных технологий правомерно для условий стационарного энергоснабжения. При этом сравнении должна быть определена экономическая эффективность использования традиционной либо альтернативной энергетики. Учитывая, что прогнозы стоимости энергоресурсов на период 15–20 лет дело достаточно сложное, и не всегда результаты сделанных ранее прогнозов совпадают с реальными показателями, вопрос о необходимости дотационного механизма для альтернативных методов получения энергии может быть решен только на базе практических разработок. Это вопрос о том, возможно ли сегодня при современном уровне развития науки и техники создание альтернативных методов получения энергии, цена которых не будет выше традиционных технологий. При этом нет единого подхода к методам альтернативной энергетики, т.е. не-

возможно разработать схему, которая экономически эффективно будет применяться в различных условиях: региональных, климатических, сырьевых и т.д. Автономная, либо распределённая энергетика является по определению региональной, т.е. для каждой группы регионов со схожими климатическими и природными условиями должны разрабатываться свои технологии получения энергии по альтернативным технологиям.

- Разработка и создание новых методов распределённой региональной энергетике, использование которых является экономически оправданным, является основной задачей лаборатории проблем энергосбережения ОИВТ РАН.

В значительной степени интерес к распределённой либо региональной энергетике связан с изменившимися законами экономического развития [3]. Регионы заинтересованы в налоговых отчислениях. Величина налогов напрямую связана с уровнем производства. Ввод новых производственных мощностей позволяет увеличить финансирование образования, медицины, социальных выплат, благоустройства, строительства дорог и т.д., то есть улучшить показатели, по которым определяется эффективность действий регионального руководства. Если при создании новых производств собственных энергетических мощностей не хватает, то экономический эффект от ввода новых источников энергии будет поступать в регионы, производящие энергию. Это означает недополученную прибыль. Отсюда возникает заинтересованность регионов в развитии местной энергетике с использованием региональных топлив. Экономическая заинтересованность регионов в развитии распределённой энергетике обеспечивает огромный спрос на автономные устройства генерации, для удовлетворения потребностей в которых в стране отсутствуют мощности.

В стране существует значительный дисбаланс между потреблением и производством электроэнергии [5]. Как известно, за подключение новых потребителей к энергосистеме взимается значительная плата. По имеющимся данным, в 2007 году в стране было отказано в подключении потребителей на суммарную мощность 2300 МВт. Отказ в подключении был продиктован исключительно отсутствием резерва мощностей в энергосистеме. В создавшейся ситуации необходимость принятия срочных мер по устранению дефицита энергоресурсов выдвигает на первый план задачу развития распределённой энергетике на базе местных топливно-энергетических ресурсов как наиболее рационального и экономически оправданного надежного метода электро- и теплоснабжения. Естественно, обеспечение всех потребностей в электроэнергии не может быть осуществлено только за счёт малых и автономных энергетических установок. Но сооружение крупных станций требует значительных финансовых ресурсов. В период инвестиционной нестабильности и отсутствия «длинных» денег значительная часть проблем с электроснабжением будет решаться за счёт малых станций. При этом надо понимать, что чрезмерное использование автономных энергоисточников будет таким же отклонением от оптимального направления развития энергетике, как и принятая ранее концепция централизации всех энергопроизводящих мощностей.

4 Автономные отечественные электростанции и мини-ТЭЦ на природном газе

В последнее время резко возрос интерес к автономным энергетическим установкам, использующим газопоршневой двигатель в качестве привода электрогенератора. Такие установки имеют ряд несомненных достоинств: относительно низкие удельные капитальные затраты, короткие сроки монтажа, быстрый запуск, простота обслуживания, высокий КПД при частичных нагрузках, мобильность. Наибольшей экономичностью отличаются установки, оснащенные теплообменными агрегатами для утилизации тепла (мини-ТЭЦ)[6]. Если коэффициент использования топлива электростанций на базе газопоршневого двигателя составляет 32...35%, то для мини-ТЭЦ (установок с когенерацией тепла) – 82...85%.

На российском рынке сегодня представлены, в основном, агрегаты известных иностранных компаний (Jenbacher, Caterpillar, Deuts, Tedom и др.). При всех достоинствах импортные агрегаты обладают двумя существенными недостатками: высокой удельной стоимостью и проблемами с сервисным обслуживанием и ремонтом.

Основная часть производителей в сфере малого и среднего бизнеса в России использует электрические и тепловые мощности в диапазоне 100...1000 кВт. Для создания мини-ТЭЦ в этом диапазоне мощностей наиболее приемлемым является использование отечественных дизельных двигателей, в частности Ярославского моторного завода, мощностью 60, 100, 200 и 315 кВт, конвертируемых в газопоршневые агрегаты. Выпуск мини-ТЭЦ этого ряда мощностей освоен в настоящее время группой компаний «Малые газопоршневые станции» (ГК «МГС», Москва) на базе технической документации НАТИ, собственных разработок и исследований Объединенного института высоких температур Российской академии наук (ОИВТ РАН). Отработка конструкций и режимных параметров отечественных мини-ТЭЦ осуществляется на специализированном стенде, созданном в ОИВТ РАН. В настоящее время стенд такого назначения является единственным в стране.

Фотография стенда ОИВТ РАН представлена на рис. 3.

Стенд предназначен для исследования режимов работы газопоршневых электростанций и мини-ТЭЦ, отработки систем подачи газового топлива, систем автоматики двигателя и электростанции, систем тепловой автоматики, для испытаний теплообменников, снятия режимных характеристик агрегатов при моделировании электрической и тепловой нагрузок потенциального потребителя. На стенде были отработаны конструкции газопоршневых мини-ТЭЦ на базе дизелей производства Ярославского моторного завода электрической мощностью 100, 200 и 315 кВт. Полученные в ходе испытаний данные были использованы для разработки технической документации, необходимой для передачи мини-ТЭЦ в серийное производство.

Фотография мини-ТЭЦ электрической мощностью 315 кВт в контейнерном исполнении в ходе стендовых испытаний представлена на рис. 4.



Рис. 3. Общий вид стенда ОИВТ РАН для отработки режимных параметров отечественных электростанций и мини-ТЭЦ на базе газопоршневых двигателей. Слева направо: мини-ТЭЦ мощностью 200 кВт эл. (300 кВт тепловых), 315 кВт эл. (460 тепловых), 100 кВт эл. (150 тепловых)



Рис. 4. Мини-ТЭЦ мощностью 315 кВт в контейнерном исполнении

Стоимость установленного кВт отечественных мини-ТЭЦ составляет \$520...540, это примерно в 2–2,5 раза меньше стоимости установленного кВт электростанций и мини-ТЭЦ импортных производителей. Мини-ТЭЦ изготавливаются как в виде отдельных агрегатов для стационарной установки в имеющихся помещениях, так и в блочно-модульном исполнении – в передвижных контейнерах, устанавливаемых на открытых площадках.

- В качестве примера, подтверждающего экономическую выгодность сооружения отечественных мини-ТЭЦ на базе двигателей Ярославского завода, можно привести разработанный ОИВТ РАН проект сооружения станции мощностью 315 кВт для энергоснабжения нижней научной площадки и жилого поселка Специальной астрофизической обсерватории Российской академии наук (САО РАН) в поселке Нижний Архыз (Карачаево-Черкесская Республика). Анализ финансово-коммерческой эффективности проекта показал, что при сооружении данной станции обеспечиваются следующие показатели:
- чистый дисконтированный доход составит около 70 млн. руб. и более чем в 5 раз превысит требуемый объем инвестиций в строительство;
- внутренняя норма доходности составит не менее 40% и многократно превысит максимальные расчетные значения ставок дисконтирования;
- индекс доходности для инвестиций в целом будет иметь значения около 6, т.е. значительно превысит единицу;
- себестоимость производства электроэнергии не превысит 50 коп/кВтч, что в несколько раз меньше тарифа на покупную электроэнергию;
- бюджетная эффективность за расчетный период эксплуатации станции определяется расчетной суммой отчислений в бюджет, равной 280 млн. руб.

Сооружение автономных энергоисточников на природном газе экономически целесообразно при дефиците электрической энергии не только в отдаленных регионах, но и в больших городах также.

В рамках реализации программы энергосберегающих мероприятий, разработанной лабораторией проблем энергосбережения ОИВТ РАН для ФГУП ГКНПЦ им. М.В. Хруничева, были исследованы возможности снижения затрат на электропотребление путем создания на заводе собственных энергоисточников, позволяющих на первом этапе частично, а затем полностью заменить централизованное электроснабжение автономными энергоисточниками.

Электропотребление котельной ФГУП ГКНПЦ им. М.В. Хруничева составляет около 20% от общего объема электроэнергии, потребляемой предприятием. При рассмотрении возможности перевода котельной завода на собственное обеспечение электрической энергией необходимо было учитывать неравномерность сезонных и суточных графиков тепловых нагрузок. В силу этих причин схема собственной ТЭС разрабатывалась с учетом того, что при снижении электропотребления в котельной вырабатываемая электроэнергия могла бы быть использована для питания других потребителей. Мощность сооружаемой ТЭС была определена в размере 4 МВт с учетом перевода на нее постоянной составляющей за-

грузки котельной по вырабатываемой тепловой энергии. Такой постоянной круглогодичной нагрузкой является нагрузка системы горячего водоснабжения, равная 3,6 Гкал/ч (4,2 МВт). Проект был выполнен для установки оборудования американской фирмы CATERPILLAR.

Рабочий проект учитывает возможность увеличения мощности собственного энергоисточника до 16–20 МВт, что позволит полностью обеспечить потребности предприятия в электроэнергии.

Для варианта, признанного приоритетным, получены следующие значения основных экономических критериев.

Простые показатели для инвестиционных затрат:

- чистый доход за расчетный период - 1004,2 млн. руб.
- срок окупаемости капитальных вложений - 6,3 года
- рентабельность капитальных вложений - 16,0%
- сумма отчислений в бюджеты всех рангов 1667,4 млн. руб.
- Техничко-экономические параметры проекта удовлетворяют всем основным требованиям финансово-коммерческой эффективности:
- чистый дисконтированный доход является положительной величиной;
- внутренняя норма доходности существенно превышает максимальные расчетные значения ставки дисконтирования;
- индекс доходности значительно больше единицы;
- дисконтированный срок окупаемости гораздо меньше срока службы основного оборудования, составляющего 30 лет.
- Себестоимость отпускаемой электроэнергии после расчета за кредиты, приведенная к исходным ценам (на 01.07.2007 г.), составляет 0,56 руб./кВтч – более чем в два раза ниже расчетного тарифа в исходных ценах (без НДС). Для тепловой энергии это соотношение составляет около 1,5 при себестоимости, приведенной к исходным ценам 469,7 руб./Гкал. Это и обеспечивает быструю окупаемость инвестиций.
- Реализация проекта обеспечит значительную бюджетную эффективность. Общая сумма отчислений в бюджеты всех уровней за расчетный период в прогнозных ценах составит 1667,4 млн. руб., в том числе в консолидированный бюджет г. Москвы – 667,2 млн. руб. Такие значительные суммы поступлений в бюджеты должны стимулировать бюджетную поддержку реализации проекта.

5 Автономные энергокомплексы на местных топливно-энергетических ресурсах

Одной из возможных технологий производства электроэнергии и тепла при переработке отходов является технология получения на первой стадии энергетического газа, а на второй – сжигание данного газа в мини-ГЭЦ на базе газопоршневого двигателя с одновременным производством электрической и тепловой

энергии. К настоящему времени известны две технологии получения энергетического газа при термической переработке биомассы: газификация и пиролиз[7]. При пиролизе (нагреве перерабатываемого материала без доступа окислителя) возможно получение энергетического газа с теплотворной способностью до 5000 ккал/м³, побочными продуктами пиролиза является твердая и жидкая фаза реакции. Теплосодержание получаемой газообразной фазы не превышает 25% от энергии, запасенной в перерабатываемой биомассе. Оставшаяся энергия распределяется между жидкой и твердой фазами. С экологической точки зрения жидкая фаза пиролиза небезопасна, ее переработка, либо утилизация связана со значительными трудностями. В силу этих причин процессы пиролиза на практике не применяются. При газификации осуществляется безотходная переработка исходного сырья, но теплотворная способность получаемого энергетического газа не выше 1100 ккал/м³. Получаемый при газификации газ примерно на 50–60% состоит из водорода и окиси углерода, остальное составляет азот. Использование газа с низкой теплотворной способностью в современных энергетических агрегатах, рассчитанных на высокие тепловые нагрузки, неэффективно. Для энергетического использования продуктов переработки биомассы необходимо осуществление процесса получения энергетического газа экологически безопасными методами, при этом получаемый газ должен иметь достаточный уровень теплосодержания, обеспечивающий возможность его использования в современном энергетическом оборудовании.

Принципиальная схема процесса переработки биомассы по технологии ОИВТ РАН представлена на рис. 5.

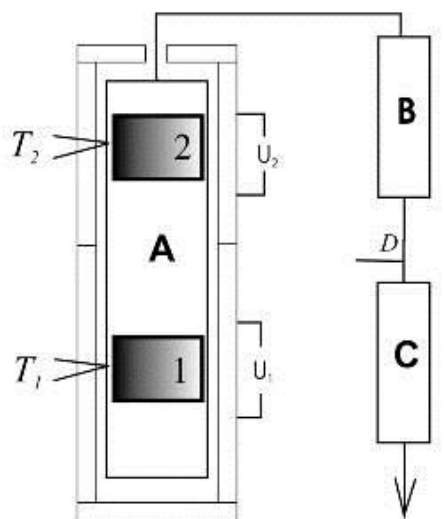


Рис. 5. Принципиальная схема установки по термической переработке биомассы с получением высококалорийного энергетического газа по технологии ОИВТ РАН

Разрабатываемая технология переработки биомассы состоит в следующем. Проводится пиролиз биомассы с образованием газообразных, жидких и твердых продуктов реакции. На схеме реакционное пространство, в котором осуществляется пиролиз биомассы, условно показано цифрой 1. Жидкая фаза пиролиза состоит из набора высокомолекулярных соединений C_nH_m и пирогенетической воды. При температурах пиролиза $T_1 + 400\text{--}900\text{ }^\circ\text{C}$ жидкие продукты реакции находятся в паровой фазе. Газообразные продукты реакции пиролиза, состоящие из конденсируемой и неконденсируемой части при температурах порядка $1000\text{ }^\circ\text{C}$ (на схеме реакционное пространство 2, температура T_2) продуваются через твердую углеродную фазу, образующуюся при пиролизе, осуществляемом на первой стадии процесса. При этом пирогенетическая вода, находящаяся в паровой фазе, взаимодействует с углеродом с образованием водорода и окиси углерода по реакции $C + H_2O = CO + H_2$. Высокомолекулярные соединения, входящие в состав конденсируемой фазы, пиролизуются при прохождении через засыпку высокотемпературного углерода с образованием водорода и окиси углерода ($C_nH_m = C + H_2$). Таким образом, осуществляется конверсия жидких и твердых продуктов реакции в водород и окись углерода, что обеспечивает безотходную переработку биомассы с получением высококалорийных энергетических газов.

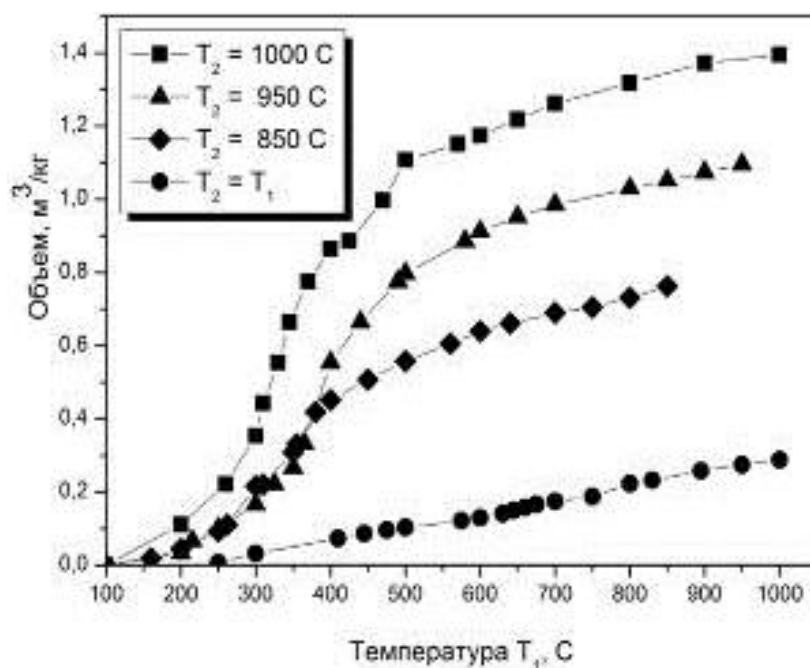


Рис. 6. Зависимость объема газообразных продуктов реакции от температуры в верхней зоне реактора

Газообразные продукты реакции направлялись в конденсатор В. Несконденсированные продукты реакции поступают в измерительный объем С. Отбор проб для хроматографического анализа осуществляется в точке D. Эксперименты проводились при различных значениях температур T_1 и T_2 . Зависимость объема получаемых в процессе газообразных продуктов реакции от температуры в зоне реакции 1 при нескольких значениях температур в зоне реакции 2 (зоне крекинга высокомолекулярных соединений и реакции водяных паров с углеродным остатком пиролиза), равных 850, 950 и 1000 °С, представлена на рис. 6. Для сравнения, на этом же рисунке представлена зависимость объема газообразных продуктов реакции, получаемых при традиционной технологии пиролиза, т.е. без разложения получаемых газообразных продуктов реакции на углеродном остатке ($T_2 = T_1$).

Как видно из рисунка, объем газовой фазы, образующийся в разрабатываемой технологии термической переработки биомассы, в значительной степени определяется температурой в зоне крекинга высокомолекулярных соединений и взаимодействия водяных паров с углеродным остатком пиролиза (на рис. 5 зона 2). С ростом температуры в верхней части реактора объем образующихся газов увеличивается. Одновременно происходит уменьшение количества жидкой фракции, собираемой в конденсаторе. Как показали эксперименты, при температуре $T_2 = 1000$ °С при переработке древесных отходов и торфа жидкая фракция полностью исчезает.

Таким образом, при фильтрации через угольный остаток газов и паров, образующихся в процессе термической деструкции торфа, происходит не только разложение высокомолекулярных органических соединений, которые при обычном пиролизе конденсируются в виде смол, но и взаимодействие пирогазетической воды с угольным остатком, приводящее к образованию водорода и окиси углерода. В пределе при определенном содержании воды в перерабатываемой биомассе возможна полная переработка угольного остатка в водород и окись углерода.

В табл. 1 показан состав газообразных продуктов реакции, получаемых по разрабатываемой технологии, при переработке торфяных пеллет в зависимости от температуры в зоне крекинга.

Таблица 1. Состав, объем и теплота сгорания газовых смесей, полученных путем термической переработки торфяных пеллет.

T_2 , °С	Объемная доля горючих компонент			Теплота сгорания, МДж/м ³		Объем, м ³ /кг	Эффективность конверсии
	H ₂	CO	C _n H _m	Q _B	Q _H	V	
850	0,40	0,27	0,08	11,7	10,6	0,76	0,42
950	0,43	0,40	0,02	11,3	10,4	1,1	0,60
1000	0,49	0,41	0,01	11,7	10,6	1,39	0,78
Пиролиз (10град/мин)	0,23	0,19	0,13	10,4	9,6	0,29	0,15

Основным достоинством разрабатываемой технологии является высокая степень конверсии энергии перерабатываемой биомассы в энергетический газ. В существующих технологиях пиролиза эта величина не превышает 0,18, в технологии ОИВТ РАН – 0,78. Количество выделяющихся газов – около $1,4 \text{ м}^3$ на кг исходного продукта, а теплотворная способность получаемого газа – около 3000 ккал/м^3 . По составу получаемая газовая смесь состоит из окиси углерода и водорода.

Технология позволяет осуществить эффективную безотходную переработку местных топливно-энергетических ресурсов, в первую очередь древесных и сельскохозяйственных отходов, торфа с получением высококалорийного энергетического газа, который непосредственно может быть эффективно использован для производства электрической и тепловой энергии, в том числе в мини-ТЭЦ.



Рис. 7. Демонстрационная установка для совместного производства электрической и тепловой энергии, работающая на продуктах переработки биомассы на примере древесных отходов и торфа

Изложенные выше принципы реализованы при сооружении демонстрационного автономного энергокомплекса, в состав которого входит реактор для получения высококалорийного энергетического газа и мини-ТЭЦ для совместного производства электрической и тепловой энергии. Установка представлена на рис. 7. В данном реакторе для получения высококалорийного газа из древесных отходов и торфа процессы пиролиза биомассы и взаимодействия жидкой фазы и пирогенетической воды с твердой фазой процесса объединены в одном аппарате.

6 Заключение

К настоящему времени в области энергосбережения для различных видов потребителей имеется определенный задел, в создании которого имеется вклад также и лаборатории проблем энергосбережения ОИВТ РАН. Тиражирование разработанных технических решений позволит быстро и надежно получить значительный экономический эффект. Разработанные энергосберегающие мероприятия для многих систем могут использоваться в качестве типовых по своим технико-экономическим показателям и, как это было показано для системы оптимизации тепловых нагрузок РКЗ им М.В. Хруничева, результаты их внедрения превосходят зарубежные аналоги.

Одним из определяющих направлений в обеспечении энергоэффективной экономики является разработка, производство и широкое практическое использование отечественных средств автономной энергетики. Особое место в автономных системах энергообеспечения должны играть системы, работающие на местных топливных ресурсах, в качестве которых основными являются древесные отходы, торф, сельскохозяйственные отходы, ТБО. Организация промышленного производства отечественных газопоршневых электростанций и мини-ТЭЦ внесёт существенный вклад в развитие автономной энергетики.

Основным направлением выхода из кризиса является перевод промышленности на инновационные рельсы. Это значит, на организацию производства товаров и услуг на базе наукоёмких технологий. Автономная энергетика, основанная на использовании местных топливных ресурсов и отходов, в том числе на базе разработок лаборатории проблем энергосбережения ОИВТ РАН как раз и является практической реализацией научных исследований фундаментального плана, что полностью соответствует требованиям, предъявляемым к современным инновационным технологиям.

Литература

1. Бушуев В.В. Энергетика России (избранные статьи, доклады, презентации). В 3 томах. Т. 3: Мировая энергетика и Россия. Москва: ИЦ «Энергия», 2014. 415 с.
2. Зайченко В.М. Основные мероприятия, необходимые для перехода к энергоэффективной экономике [Электронный ресурс] // https://jiht.ru/staff/page_units/lab2-2/Зайченко.doc. 2010.
3. Антропов А.П., Батенин В.М., Зайченко В.М. Новые технологии распределенной энергетики // Теплофизика высоких температур. 2015. Т. 53, № 1. С. 111.
4. Оптимизация распределения нагрузок в тепловой сети [Электронный ресурс] // https://owen.ru/project/optimizaciya_raspredeleniya_nagruzok_v_teplovoj_seti.
5. Федеральная служба государственной статистики. Топливо-энергетические балансы [Электронный ресурс] // <https://www.gks.ru>. 2016.
6. Наумов Л.А. МИНИ-ТЭЦ – очередной бум или объективная потребность отечественной энергетики // АВОК. 2005. № 7.

7. Зайченко В.М., Крысанова К.О., Лавренов В.А. Метод и устройство пиролизической переработки отходов целлюлозно-бумажного производства в высококачественный синтез-газ // Экология и промышленность России. 2018. Т. 22, № 11. С. 4–9.

Reference

1. Bushuev V.V. Energy of Russia (selected articles, reports, presentations). In 3 volumes. T. 3: World Energy and Russia. Moscow: PC Energia, 2014. 415 p.
2. Zaichenko V.M. The main activities required for the transition to an energy-efficient economy [Electronic resource] // https://jiht.ru/staff/page_units/lab2-2/Zaichenko.doc. 2010. p. 387.
3. Antropov A.P., Batenin V.M., Zaichenko V.M. New technologies of distributed energy // Thermophysics of high temperatures. 2015. V. 53, No. 1. p. 111.
4. Optimization of load distribution in the heat network [Electronic resource] // https://owen.ru/project/optimizaciya_raspredeleniya_nagruzok_v_teplovoj_seti.
5. Federal State Statistics Service. Fuel and energy balances [Electronic resource] // <https://www.gks.ru>. 2016.
6. Naumov L.A. MINI-TPP - another boom or objective need for domestic energy // ABOK. 2005. No. 7.
7. Zaichenko V.M., Krysanova K.O., Lavrenov V.A. Method and device for pyrolytic processing of pulp and paper production waste into high-quality synthesis gas // Ecology and Industry of Russia. 2018. Vol. 22, No. 11. p. 4–9.

Transition to energy efficient economy: problems and prospects

V.M. Zaichenko

Joint Institute for High Temperatures of the Russian Academy of Sciences (OIIVT RAS),
Moscow, 125412, Russia

E-mail: zaitch@oivtran.ru

Abstract. The article discusses the possibility of transition of the Russian economy to an energy-efficient development path, as the main way out of the crisis. It is shown that autonomous energy based on the use of local fuel resources and waste fully complies with the requirements for modern innovative technologies. One of the determining directions in ensuring an energy-efficient economy is the development, production and wide practical use of domestic autonomous energy. A special place in autonomous energy supply systems should be played by systems operating on local fuel resources, the main ones being wood waste, peat, agricultural waste, and MSW. Organization of industrial production of domestic

gas piston power plants and mini-CHP will make a significant contribution to the development of autonomous energy.

Keywords: energy-efficient economy, renewable energy sources, autonomous energy, solid waste, mini-thermal power plants, secondary energy resources, waste processing

УДК 621.331+004

Комплексное развитие новых технологий энергожизнеобеспечения Smart Cities

Ю.Н. Кучеров¹ [0000-0001-7259-9719], В.В. Бушуев² [0000-0001-9288-4699],
А.В. Иванов¹, Д.А. Корев³, С.А. Утц⁴, А.В. Шихина⁵

¹ФГУП «Стандартинформ» (Росстандарт), г. Москва, Россия

²Объединенный институт высоких температур Российской академии наук (ОИВТ РАН),
г. Москва, 125412, Россия

³АО «РВК», г. Москва, Россия

⁴АО «СО ЕЭС», г. Москва, Россия

⁵АО «РТСофт», г. Москва, Россия

E-mail: ¹ jk.velegozhlife@gmail.com

Аннотация. В статье рассматриваются задачи интеграции новых энергетических и информационных технологий для условий крупных городов и мегаполисов с целью повышения эффективности их основных секторов. Обобщаются мировые тенденции устойчивого развития умных городов (Smart Cities), гармоничного сочетания искусственной и природной среды, влияния нового технологического уклада (Industry 4.0) и интеллектуальных систем управления для организации взаимодействия жизнеобеспечивающих инфраструктур. Обобщаются тенденции развития стандартизации технологий для умных городов на международном и национальном уровнях.

Ключевые слова: «умный» город, критическая инфраструктура, устойчивость развития, новые технологии, комплексные решения, горизонтальная интеграция, распределенная энергетика, активный потребитель, стандартизация.

1 Глобальные вызовы и тенденции развития умных городов

Современный мир характеризуется стремительным ростом городов, с образованием мегаполисов (с населением более одного миллиона человек) и зачатками формирования гигаполисов (населением более 100 миллионов человек). Возникающие проблемы быстрой урбанизации и концентрации населения определяет актуальность поиска комплексных/системных решений устойчивого развития городов, безопасного, надежного и эффективного функционирования инфраструктур жизнеобеспечения на урбанизированных территориях [1-8].

Проблемными аспектами являются - перенаселенность городов, несовершенство градостроительных решений, высокий уровень износа основных городских инфраструктур, ухудшение экологии, включая проблему утилизации отходов, доступ к чистой воде, энергообеспечению, дефицит бюджетных ресурсов и др. Новым вектором развития последнего десятилетия является стремление, как жителей, так и органов управления городов, к поиску более эффективных решений развития городской инфраструктуры с применением передовых технологий во всех секторах, объединяемых понятием **«умный город» (Smart City)**. *Под умным городом понимается в целом некоторый образ «города будущего», который на настоящем этапе развивается путем проведения стратегии эффективной интеграции и использования преобразующей силы инженерных/физических, цифровых и человеческих систем/технологий, для гармоничного сочетания искусственной и природной среды, фундаментального улучшения качества жизни проживающих и находящихся в городе людей с учетом интересов будущих поколений.* При этом - концепция умного города, как правило, не определяет конечного состояния, а задает вектор развития, тогда как жители города являются обязательной заинтересованной стороной в процессах рассмотрения и принятия решений. Примерами активно развиваемых умных городов являются Амстердам, Барселона, Берлин, Дубай, Гонконг, Йокогама, Нью-Йорк, Сингапур, а также большое количество больших и малых городов, которые вовлечены в данный процесс в соответствии со своими заявленными концепциями развития.

В России основополагающими документами и материалами в данном направлении являются правительственное решение о программе «Цифровая экономика Российской Федерации», Федеральный национальный проект «Умный город», Стратегия пространственного развития Российской Федерации на период до 2025 года, Стратегия Москва - умный город 2030.

Важнейшими инфраструктурами умного города являются все системные средства, оборудование и услуги, которые поддерживают операции и деятельность умного города, в том числе энерго- и водоснабжение, транспортные системы, сети связи и телекоммуникации, коммунальные службы, утилизацию отходов, но не ограничиваются ими. Общая модель «Smart City» (Рис. 1) представляет сложную динамично изменяющуюся структуру. Модель объединяет основные сектора и инфраструктуры жизнеобеспечения города для формирования устойчивой среды обитания и повышения эффективности функционирования в целом; такая структура является «системой систем» и предполагается взаимодействие «всех со всеми». Одним из универсальных решений по оптимизации управления умным городом является создание комплексной математической модели, описывающей работу всех составляющих и имеющихся связей, – *«цифровой модели» умного города*. «Цифровая модель» или параметризованная математическая модель объекта управления создается на основе *систем непрерывного мониторинга* и позволяет производить над ним виртуальные эксперименты и отрабатывать различные сценарии развития.

Формирования городов в России отличается определенной спецификой; города достаточно быстро перешли от больших поселений к городам индустриаль-

ного типа в первой половине XX века (исторический центр, промышленные предприятия, спальные районы) и затем к современному состоянию при кардинальном изменении социально-экономической системы 90-х годов, закрытием многих промышленных предприятий, утратой целых отраслей промышленности и стремительным ростом инфраструктуры постиндустриального потребительского общества. Это определяет глубину необходимой трансформации к умному городу в стране. *Если для большинства европейских городов достаточно заниматься благоустройством, развитием общественного транспорта и совершенствованием систем управления, то в России с позиции градостроительства требуется - реновация жилья, трансформация промзон, кардинальное расширение и развитие транспортной системы, развитие общественного пространства, а с позиции безопасности и надежности в условиях сурового климата - глубокая модернизация энергожизнеобеспечивающих инфраструктур, включая ЖКХ, рациональное использование ресурсов, управление отходами (сортировка, переработка, повторное использование, сжигание, утилизация, рекультивация земель).*



Рис. 1. Общая модель умного города

Одним из универсальных решений по оптимизации управления умным городом является создание комплексной математической модели, описывающей работу всех составляющих и имеющихся связей, – «цифровой модели» умного города. «Цифровая модель» или параметризованная математическая модель объекта управления создается на основе *систем непрерывного мониторинга* и позволяет производить над ним виртуальные эксперименты и отрабатывать различные сценарии развития.

Влияние применения концепции умного города на все сектора городской среды и сферы жизнедеятельности представлены на рисунках 2 и 3, начиная от базового состояния и традиционных систем управления в направлении к новой интеграционной модели управления умного города с активным вовлечением граждан, социального предпринимательства, высоким уровнем прозрачности и др. [5].

При этом требуется формирование новой системы планирования развития территорий, согласованных планов развития городов и соседних территорий, комплексных решений с учетом полицентричности и жизненного цикла объектов инфраструктуры (80 лет – срок жизни зданий, 30-40 лет – срок жизни энергообъектов). Точками развития на новом уровне, как правило, являются кластеры вне города, а именно, города-спутники: технополисы, иннополисы и др. Выделяются пока только локальные решения, например, агрегаторы услуг, мониторинг парковочного пространства, call-центры, единое окно госуслуг (в т.ч. online – личные кабинеты), доступный интернет в общественном пространстве и транспорте (включая метро), бесконтактные платежи и др.

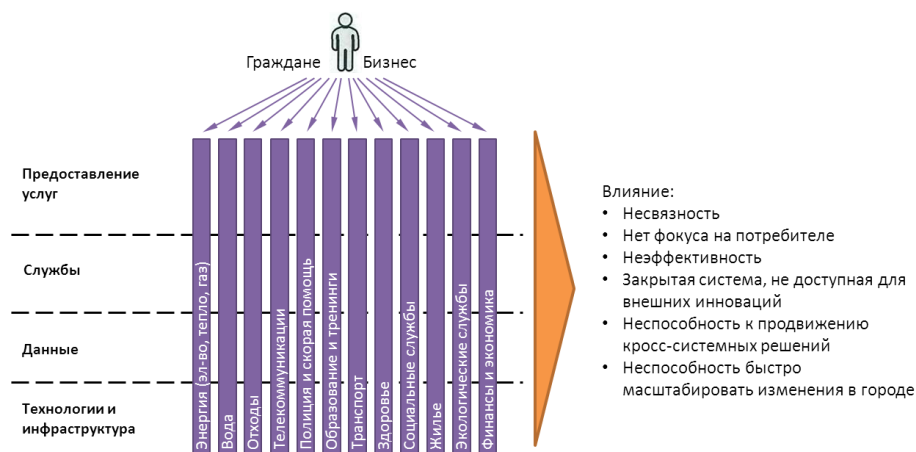


Рис. 2. Традиционная модель управления: откуда движутся умные города

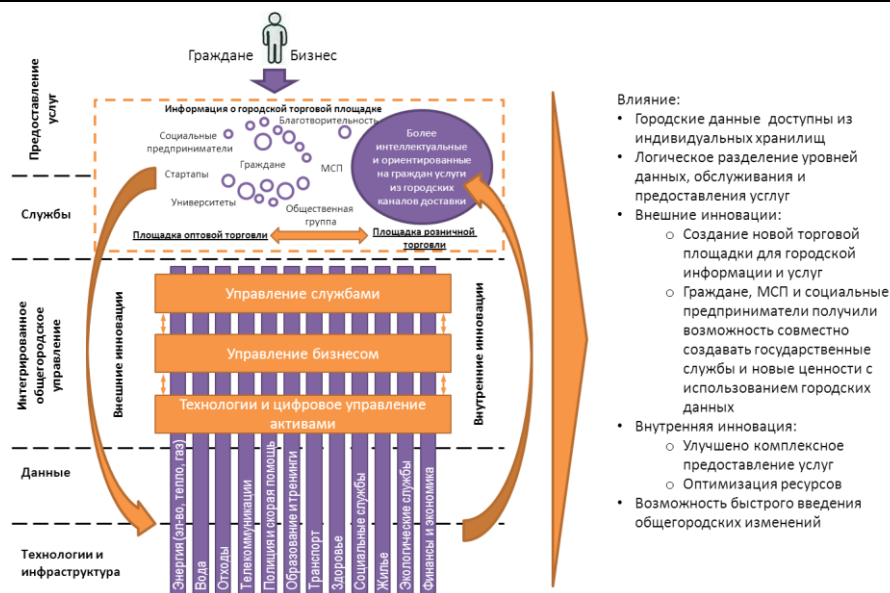


Рис. 3. Новая интегрированная операционная модель: куда движутся умные города

2 Новые технологии и принципы энергожизнеобеспечения умных городов

Развитие умных городов целесообразно рассматривать с системных позиций, учитывая исторические предпосылки, состояние, базовые условия обеспечения физичес-кой, информационной и экологической безопасности, надежности обеспечения энергией, устойчивого развития, качественного предоставления услуг, энергоэффективности, под-держки сложнейшей и постоянной развивающейся критической инфраструктуры в целом [1, 6, 7, 9, 10].

Ведущие международные организации по стандартизации (МЭК и ИСО), пол-ноправными членами которых является Россия (национальные секретариаты ве-дет Росстандарт), обращают внимание на необходимость развития **критически важной инфраструктуры** жизнеобеспечения умных городов, учитывающей угрозы и риски катастрофических ситуаций, способной их предотвращать и лик-видировать во взаимодействии всех ответственных сторон. К базовой части такой инфраструктуры относятся [1] *системы обеспечения электроэнергией, теплом, газом, водой, средства связи и телекоммуникации, транспорт, ЖКХ, утилизация отходов*. Для российских городов (74% - городское население России; 15 мегапо-лисов, более 20 – крупных городов с населением более 500 тысяч жителей, более 40 – с населением от 250 – до 500 тысяч жителей) данная постановка является крайне актуальной.

Синергия развития умного города формируется в результате интеграции идей модернизации и совершенствования управления общегородских структур (Рис.

1) с концептуальными идеями реализации *Smart Grid*, *Smart Energy*, *Industry 4.0*, *IoT*, *Blockchain*, *Искусственного интеллекта*, *роботизации*, *формирования нового технологического уклада в целом* [1-6 и др.].

Выделим в этом сложном процессе **современный этап** развития умного города, отталкиваясь от стоящих вызовов, тенденций, зрелого уровня новых технологий и принципов управления, и последующий - **перспективный этап**, который в большей степени базируется на целевом видении и осваиваемых технологиях.

Современный этап (на 15-20 лет). Основная группа новых технологий мирового мейнстрима для энергоснабжения умного города включает [1-6,11]: ВИЭ, электро-транспорт, системы накопления энергии, умные распределительные сети электро-снабжения, микроЭЭС, умные дома-здания-предприятия, системы интеллектуального учета, агрегирование источников энергии малой мощности и потребительской нагрузкой для коммерческого вовлечения в режим работы ЭЭС, развитые ИКТ, беспроводные датчики/сенсоры, распределенные системы управления, глубокую функциональную совместимость (*interoperability*) технологий, оборудования, систем на всех уровнях соответствующей архитектуры *Smart Grid* (Рис.4) [5], включая работу с традиционной энергетикой.

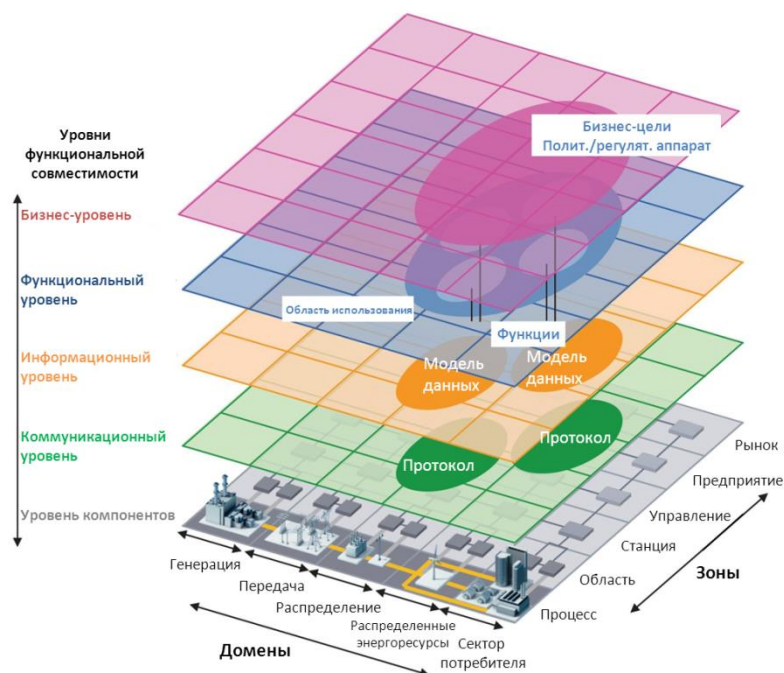


Рис. 4. Архитектурная модель Smart Grid МЭК. Источник: [5].

Данный процесс подвержен объективным изменениям в силу глобальной конкуренции, стремления человека к выживанию, безопасности, повышению качества жизни. Это движет процесс урбанизации, в результате которой главной средой обитания человечества становится город. *Айзек Азимов* еще в середине прошлого века очень четко описал развитие атомной энергетики, включая ее миниатюризацию, робототехнику, систему связи, правда, совершенно прошел мимо потенциала ВИЭ. Он предполагал актуальность создания планетарного правительства к сегодняшним годам, но видимо время еще не пришло, и мы стремительно движемся к азимовскому планетарному городу с населением в 40 млрд жителей.

Можно ли считать умным город, в котором ежегодно случаются блэкауты длительностью в несколько дней с коллапсом инфраструктур жизнеобеспечения; или мегаполис - в условиях дефицита энергоресурсов, где ежедневно в часы пик происходят непреднамеренные отключения значительной части потребителей; или город, зарастающий горами мусора; или мегаполисы, которые задыхаются от транспортного и угольного смога; города, страдающие от недостатка или отсутствия чистой питьевой воды, невозможности получения доступа к комфортному жилью, качественным медицинским услугам и др.? По сравнению с этими проблемами, присущими многим мегаполисам мира, задачи оснащения быстрым интернетом, широкополосной мобильной связью, электротранспортом, умными домами и другими современными благами цивилизации, кажутся насмешкой над большей частью населения планеты, подчеркивая нарастающее неравенство между ними. Могут ли достижения технологического прогресса и совершенствование процессов городского управления решить эти задачи? Наверное, да, но только очень выборочно. *Нужна новая философия проживания на планете, превращающейся в глобальный мегаполис с непредсказуемым будущим, нужны новые источники энергии и новые технологии, новые комплексные решения.*

С другой стороны эти блага «цифровой» цивилизации несут новые угрозы для населения городов, для которых потеря сигнала GPS (дезориентация пешеходов, водителей, умного беспилотного транспорта) может показаться легкой забавой, по сравнению с кибератакой на системы управления критически важной инфраструктуры. Особенно это актуально в секторе электроснабжения конечного потребителя. Выход из строя системы электроснабжения, как правило, сопровождается потерей источников теплоснабжения, газоснабжения, гаснут и газовые и водогрейные котлы индивидуального использования, теряется интернет, связь, мгновенно возникает транспортный коллапс из-за прекращения работы системы регулирования движения и т.д. И если, для основной части мира – такие потери влекут снижение комфорта проживания, то для жителей России в зимний период – прямую угрозу для жизни.

3 Специфика отечественной практики

Проведем краткий анализ данных аспектов применительно к отечественной практике, которая разительно отличается от мировой. Начнем с *сектора производства электрической и тепловой энергии для умного города*. Россия является

энергетической сверхдержавой, с достаточными природными водными и топливными ресурсами, а также единой энергетической системой (ЕЭС) выстроенной и управляемой на основе собственной уникальной технологии обеспечения надежности и живучести. *Структура энергетического баланса диверсифицирована* – газ, атомная энергия, уголь, гидроэнергия, мазут (в основном как резервное топливо). *Энергосистемы городов имеют мощные связи с ЕЭС и располагают собственными энергоисточниками* (ТЭЦ, ПГУ), которые называют сейчас традиционными. ТЭЦ и ПГУ – являются электростанциями комбинированного типа, то есть производят электроэнергию и тепло, и размещены в центрах потребления. Это очень эффективно. В мире еще только ставятся задачи такого производства, или создания объединенных энергосистем, а у нас это сделано уже более 50 лет назад и работает для большей части потребителей в стране. Такое построение ЕЭС, с энергоисточниками в центрах потребления и мощными электрическими связями с внешней энергосистемой, обеспечивает энергетическую безопасность городов и страны в целом, как минимум еще на несколько поколений, и на два-три технологических уклада вперед.

Многие города в мире стремятся улучшить экологию, отказаться от сжигания угля, хотя это самое дешевое топливо, перейти на чистые угольные технологии, а лучше на природный газ, который примерно в семь раз чище угля; так в Лондоне давно уже закрыли угольные станции, а электроэнергия по глубоким высоковольтным вводам поступает в город из внешних источников. В России еще в 70-х годах прошлого века, с освоением газовых месторождений Западной Сибири, была проведена технологическая революция в системах электроснабжения европейской части России, в результате которой практически все ТЭЦ городов были переведены с угля и торфа на газ. Это беспрецедентная системная работа позволила кардинально улучшить экологическую обстановку в городах. Рассмотрим условия реализации вышеназванного мирового технологического мейнстрима, а также базовые принципы и условия развития энергетической инфраструктуры умного города.

Один из главных вопросов - можно ли перенести ТЭЦ из городов? Это сделать практически невозможно, потому что ТЭЦ в первую очередь предназначены для производства тепла и горячего водоснабжения, а такого рода теплоноситель на дальние расстояния эффективно не передается. ТЭЦ проектируются так, чтобы обеспечивать полное покрытие потребностей в тепле и горячей воде всех секторов города. В едином энергетическом эквиваленте такая *потребность в тепле превышает более чем в два раза потребности в электрической энергии*. Для электроснабжения одного миллиона жителей необходима установленная мощность электростанций не менее 1000 МВт.

В результате следует значительно шире смотреть на общемировые тренды и рекомендации, исходя из отечественных особенностей и многолетней практики. К сожалению, вклад России в эти мировые тренды и рекомендации практически нулевой из общей пассивности ответственных организаций и утраты потенциала отраслевой науки.

В связи с большим износом оборудования нужна модернизация существующей теплоэнергетической инфраструктуры, в том числе городских ТЭЦ с постепенным замещением на теплофикационные ПГУ; при этом необходимо повышать живучесть электростанций при потере связи с внешней энергосистемой, вновь вводимые энергоблоки должны проектироваться с возможностью самостоятельного запуска с «нуля». Особенно актуальна задача выстраивания новых схем в зонах децентрализованного теплоснабжения с замещением котельных на ко-, тригенерационные источники малой мощности.

Из обозначенного состава доступных технологий современного этапа, роль ВИЭ, как неперемennого атрибута Смарт Грид, для наших городов ничтожна. Они почти всегда требуют сто процентного резервирования, ВЭС в городе не поставишь, применение СЭС для городов очень ограничено – светофоры, рекламные щиты. Мировые рекомендации допускают вовлечение ВИЭ находящиеся за пределами города, например, морские ветропарки, плавучие солнечные станции на воде и т.д. Однако это в очень ограниченной мере может относиться к российским городам на морском побережье – таких городов не так много, как и свободного пространства в районах их расположения. Перспективы использования ВИЭ кардинально влияют на использование систем накопления энергии (СНЭ/ESS), которые в мировой практике стимулируются с целью решения задачи адаптации ВИЭ к работе в составе ЭЭС по причине их крайне нестационарного режима работы.

Применительно к умному городу для российских условий было бы правильнее вместо ВИЭ исследовать и использовать объекты распределенной генерации (ОРГ) на разных видах топлива, в том числе природном, биогазе, синтезгазе, свалочном газе и др. Развитие этого сектора имеет большие перспективы для установки локальных микро-, миниэнерго-установок (подвального, крышного исполнения, взрыво-, пожаробезопасных) у огромного количества уникальных зданий и кварталов города, особо ответственных категорий потребителей, учреждений социальной сферы, а также постепенно развиваемой технологии умных домов—зданий—предприятий и др. Учитывая высокий уровень газификации и надежность газоснабжения, а также современные технологии организации управления через микроЭЭС (microgrid), это было бы важное универсальное решение для повышения надежности энергоснабжения ответственных конечных потребителей умных городов (Рис. 5). При этом необходимо решить целый комплекс задач развития распределительных сетей и совершенствования управления [12 - 14]; сети становятся «активными», то есть содержат источники энергии, они меняют свое технологическое содержание и условия работы, сетевые компании должны получить новый статус для реализации новых бизнес-моделей и практик.

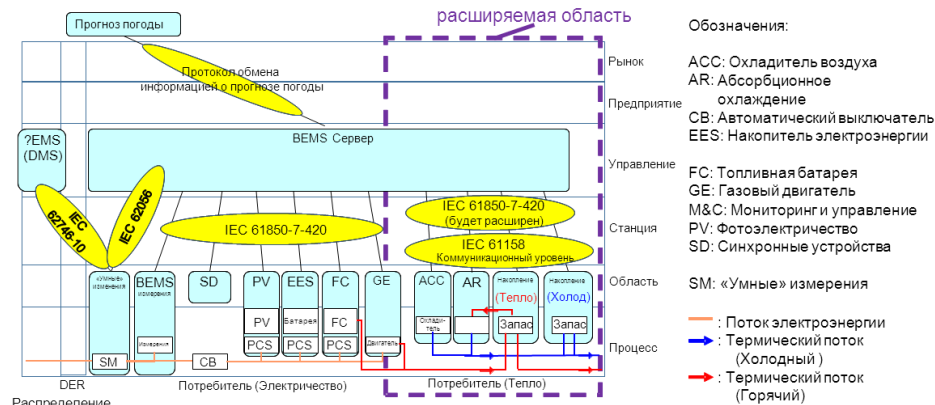


Рис. 5. Карта информационного уровня для энергоэффективного умного здания с гибридной системой энергоснабжения [Smart Energy, IEC]

Комплексной проблемой является задача включения ОРГ в электрическую сеть общего пользования. Вряд ли можно обосновать эффективность возвратных потоков энергии, то есть - довести один тип энергии до конечной потребителя, там произвести другой тип энергии и передать его в общую сеть для использования в другом месте. Назначение ОРГ – выполнять функции основного (или одного из основных) источника питания, а также источника резервного питания конечного потребителя. Интеграция ОРГ с ЭЭС в первую очередь должна быть нацелена на оказание услуг сети в чрезвычайных ситуациях как для соседних потребителей, так и для решения ряд задач регулирования графика нагрузки, частоты и напряжения в системе внешнего энергоснабжения на малых интервалах времени на коммерческой основе. В зарубежной практике такие источники по регламентирующим системным кодексам, как правило, могут переводиться под прямое управление/диспетчеризацию Системного оператора для целей скорейшего восстановления электроснабжения после аварии. В этом вопросе имеется серьезный практический зарубежный опыт, как в части технических условий работы источников в составе ЭЭС (стандарт IEEE 1547), платформенных решений, так и рыночных моделей.

Сложным вызовом рассматриваемого этапа может стать *улучшение архитектурного вида электростанций* умных городов, потому что в ближайшие годы они будут единственными крупными промышленными объектами в городской среде. Здесь можно поучиться у Японии.

Умная распределительная сеть. Электросетевая инфраструктура должна постепенно «перемещаться» в подземное пространство. Все воздушные линии электропередачи в городской черте должны замещаться подземными кабелями, необходимо развивать кабельную сеть последней мили на напряжении не ниже 20 кВ. Распределительная сеть должна быть наблюдаемой и управляемой (с автомати-

ческой реконфигурацией), подстанции - цифровые, закрытого исполнения. Оборудование должно оснащаться встроенной системой диагностики, теплоснабжение у конечных потребителей должно быть регулируемым на уровне потребителя. Объекты энергетической инфраструктуры должны резервироваться по принципу N-1, что постепенно приведет к снижению уровня концентрации мощности. Потребители первой категории должны запитываться от двух независимых источников энергии, и не от разных секций шин одной подстанции, а от разных подстанций, что постепенно приведет к повышению надежности. Уровень резервирования должен позволять проводить круглогодичные ремонтные работы. Должна вводиться система интеллектуального учета и управления спросом, так как потенциал такого управления огромен из-за традиционной неравномерности суточного графика нагрузки городов. Актуальны платформенные решения для управления ОРГ и распределенными активными потребителями (Рис. 5) и т.д.

Электротранспортное сообщение в городах России активно развивается: трамваи, троллейбусы (в том числе с автономным ходом), пригородные поезда, метрополитен. Масштабное применение личных электромобилей (EV), согласно мировой практике, зависит от мер государственной поддержки. Необходимо учитывать, что у нас значительно большая длина среднего проезда до работы, или центров потребления и досуга, климат обязывает предусматривать обогрев салона, и очень важна быстрая зарядка порядка 8 – 10 минут. Технологии накопления, используемые на данный момент на EV, к этому пока не готовы. Видимо, развитие данного сектора у нас примерно будет совпадать по срокам с освоением технологий пассажирских летающих EV. Общая мировая рекомендация заправки EV от ВИЭ для реализации экологической цепочки, конечно, имеет значение, но с учетом диверсифицированного баланса ЕЭС России, мы можем уверенно строить будущее электротранспорта на его взаимосвязи с сетью общего пользования.

Серьезным вызовом и влечением времени является *управление отходами с глубоким уровнем переработки*. Значительный опыт накоплен в Германии, Японии. Нам нужны типовые мусоросжигательные заводы на основе экологически чистых технологий и архитектурные решения, вписывающие данные объекты в городской ландшафт. Переработка ТБО в объеме 50 % за 15 – 20 лет было бы хорошим результатом с сегодняшних нескольких процентов. Сдвиг жители увидят с введением раздельного сбора бытовых отходов, а почувствуют – введением в школах образовательных экологических программ.

Общегородская интеграция. Ключевой задачей развития города на современном этапе является обеспечение взаимодействия подсистем в целях реализации интеграции, устойчивости и жизнеспособности «умного» города (Рис. 6). Технологическая интеграция включает *вертикальную интеграцию* с датчиков, анализ и контроль в режиме реального времени, и *горизонтальную интеграцию* исторически изолированных систем вплоть до услуг, предоставляемых горожанами. В сочетании, это создает «систему систем».



Рис. 6. Пример концептуальной архитектуры управления «Smart City»

Концептуальная архитектура построена таким образом, чтобы объединить распределенные интеллектуальные системы управления на уровне «Интеллектуального центра городского управления» на основе специально созданной операционной системы города (CityOS) с целью вертикальной интеграции.

Вертикальная интеграция распределенных интеллектуальных систем в «Smart City» осуществляется «снизу вверх»: от «умных» беспроводных датчиков и сенсоров через коммуникационные шлюзы по средствам систем связи в распределенные информационно-управляющие системы и на уровень «Интеллектуального центра городского управления». Обработка больших данных (big data) с применением алгоритмов искусственного интеллекта (AI) предоставляет возможность оперативно реагировать на чрезвычайные ситуации и принимать эффективные решения.

Следующим шагом на пути к развитию «Smart City» является горизонтальная интеграция, когда данные из разных секторов могут быть объединены для лучшего управления городом и снижения рисков [1]. Существенную роль в организации горизонтальной интеграции играют «технологии промышленного интернета вещей» (IIoT) (Рис. 7). Использование данных с датчиков и сенсоров всей городской инфраструктуры, их передача через коммуникационные сети (проводные или беспроводные) используются не только для планирования изменений в городе, но и для оперативного использования городскими службами и инфраструктурными организациями. Важной составляющей для организации данного процесса являются надежные защищенные платформенные решения с открытыми API.



Рис. 7. Умный город во взаимодействии с платформой IoT

Перспективный этап (еще 15-20 лет). Обрисуем предельные контуры этого этапа. В мире с населением более 10 млрд человек, проживающих преимущественно в городах, обостряются проблемы с водой и энергоресурсами, усиливаются миграционные процессы.

В России обновляется инфраструктура традиционной энергетики; огромный парк котельных в стране замещается на высокоэффективные многофункциональные энергоустановки; микроэнергоустановки охватывают сектор конечного потребителя; разрабатываются новые источники энергии, в том числе водородная энергетика, малая атомная энергетика; в массовом порядке воздвигаются умные дома-здания-предприятия; созданы новые электропроводные, электроизоляционные и строительные материалы – типа термоэлектриков, в результате новые здания (крыши, фасады), а также дорожные покрытия приобретают возможность аккумулировать энергию природных сил; формируется новый электрический мир с технологиями прямого использования энергии минуя этапы ее преобразования; развиваются технологии беспроводной передачи энергии и подзарядки интеллектуальных приборов и устройств, EV; развивается новый технологический уклад с персонализированным потреблением, услугами и продуктами как части глобальных производственных цепочек; развиваются платформы – как интеграторы всевозможных ресурсов; *создаются универсальные измерительные системы нового поколения*; физические/инженерные системы становятся самодиагностируемыми и самоуправляемыми; *человек научился перерабатывать отходы в полном объеме и учится жить и развиваться без наращивания использования ископаемых*

природных энергетических ресурсов; *осуществляется непрерывная оценка угроз и управление рисками в сложных инфраструктурах жизнеобеспечения*; человек ищет пути безопасного будущего с бурно развивающимися системами искусственного интеллекта и сохранения своей компетенции.

Хотя подобные перспективы развертывания проектов могут показаться слишком фантастическими, в настоящее время в мировом научном и инженерном сообществе ведутся активные исследования и разработки в указанных выше направлениях.

4 Развитие стандартизации систем управления умного города

Для отечественной практики могут оказать существенную помощь знания в сфере концептов и стандартизации в инновационной сфере развития умных городов. Ведущее место занимают Международная электротехническая комиссия (МЭК), Международная организация по стандартизации (ИСО) и Международный союз электросвязи (МСЭ).

На современном этапе применение международных стандартов следует рассматривать как одну из признанных мер по повышению конкурентоспособности российской экономики, обеспечению безопасности и совместимости технических решений умного города. *Деятельность России в области международной стандартизации необходимо максимально скоординировать и усилить*, а также вовлечь в нее все заинтересованные стороны, что представляется возможным сделать путем активизации деятельности российских технических комитетов по стандартизации (ТК), значительным расширением тематики и четкой координацией экспертного сообщества со стороны базовых организаций технических комитетов и подкомитетов.

Активное участие России в работе МЭК, ИСО и МСЭ, а так же применение международных стандартов на национальном и межгосударственном уровне обеспечивает основу развития интеллектуальных технологий с применением передовых международных достижений науки и техники. В свою очередь данный подход является перспективным с точки зрения усиления позиций российских компаний на иностранных рынках и продвижения экспортных конкурентоспособных инновационных решений вкпе с развитием умных городов в России.

Перечень ключевых организаций по стандартизации, основных документов, ведущих технических комитетов и примеры стандартов в области умных городов приведены в Таблице 1.

Исходя из данных, приведенных в таблице 1, наибольшую активность в развитии стандартизации технологий умных городов имеют направления, проводимые МЭК с вовлечением широкого круга стран, компаний и экспертов.

Таблица 1. Ключевые организации по стандартизации умных городов

Уровень/ страна Организа- ция по стандар- тизации	Основные документы	Ключевые технические комитеты	Примеры стандартов
Междуна- родный МЭК, ИСО, МСЭ	IEC White Paper: Организация ин- фраструктуры для жизнеспособности «умных» городов; IEC White Paper: Стабильная работа электросистемы в будущей распреде- ленной электро- энергетике; ISO Brochure: ISO и «умные» города; IEC Brochure: «Ум- ные» города; U4SSC (I-TU): Ком- муникации городов и сообществ в целях устойчивого разви- тия;	ТК МЭК 8, 9, 21, 56, 57, 59, 65, 69, 82, 88, 105, 108. ТК ИСО 59, 204, 207, 224, 241, 268, 282, 301. ТК ИСО/МЭК 1 МЭК SyC Smart Cit- ies МЭК SyC Smart En- ergy	IEC TS 63188, IEC TR 63097, IEC 61850, IEC 61851, IEC 60870, IEC 62443, ISO/IEC 30182, ISO 37100, ISO 37101, ISO 37120, ISO/TR 37121, ISO/TR 37150, ISO/TS 37151, ISO/TR 37152
Великобри- тания BSI	Визуализации «ум- ных» городов на ос- нове модели потока данных; Роль стандартов в «умных» городах; Сделаем города «умными»: Руко- водство для лиде- ров	Работа в CEN/CENELEC, на национальном и международном уровне. CEN/TC 107, 164, 183, 230, 247, 256, 264, 278, 301, 310, 325, 345, 346, 348, 350, 353, 371, 391.	BIP 2228, BS 7000-6, BS 8904, PAS 180, PAS 181, BS EN 60730, PAS 555, BIP 2207, BS 8587, BS 8903
Германия DIN, DKE	Немецкая дорожная карта стандартиза- ции «умных» горо- дов; Немецкая дорожная карта стандартиза- ции Индустрии 4.0	CLC/TC 8X, 9X, 13, 21X, 57, 59X, 65X, 69X, 79, 82, 88, 111X, 205, 215.	DIN SPEC 91280, DIN SPEC 33440, PAS 1018, PAS 1036, PAS 1067 GAEB DA XML, PAS 1090

Уровень/ страна Организа- ция по стандар- тизации	Основные документы	Ключевые технические комитеты	Примеры стандартов
Россия Росстан- дарт	Проект Концепции развития нацио- нальной системы стандартизации Российской Феде- рации на период до 2027 года	ТК 016, 022, 039, 057, 096, 098, 113, 115, 119, 194, 303, 331, 445, 465, 480. ПТК 700, 706	ГОСТ Р 54325, ГОСТ Р 54835, ГОСТ Р 55060, ГОСТ Р 56548, ГОСТ Р 56577, ГОСТ Р 56828, ГОСТ Р ИСО 37100, ГОСТ Р ИСО 37101, ГОСТ Р ИСО 37120, ГОСТ Р МЭК 60870, ГОСТ Р МЭК 61850, ГОСТ Р МЭК 62443

Следует особо выделить деятельность МЭК в совершенствовании подходов к стандартизации в сфере умных городов и интеллектуальных технологий в целом, а именно: постоянный мониторинг новых тенденций; стандартизация сверху вниз начиная с архитектуры системы, а не с уровня продукта; охват работ, выходящих за пределы отдельно взятого технического комитета; концентрация усилий на обеспечении информационной и функциональной совместимости технологий и систем, а не на частных требованиях к свойствам объектов; строгое соблюдение принципа консенсуса заинтересованных сторон; интеграция международной стандартизации и схем оценки/сертификации в рамках деятельности МЭК в связке с национальными органами стран и др.

Для реализации политики применения стандартизации, как драйвера инновационной сферы и эффективного механизма внедрений современных технологий и функционирования сложных систем, МЭК имеет развитую систему управления стратегического уровня, состав которой приведен в таблице 2.

Таблица 2. Системные органы МЭК по развитию интеллектуальных технологий

Комитеты	Описание	Участие России
Группы оценки стандартизации		
SEG 8	Коммуникационные технологии и архитектуры электротехнических систем	не участвует
SEG 9	Умный дом/Системы офисного здания	не участвует
SEG 10	Этика в приложениях автономного и искусственного интеллекта	не участвует
SEG 11	Устойчивое будущее транспорта	не участвует
Системные комитеты		
SyC AAL	Поддержка активного образа жизни	наблюдатель, ТК 331
SyC LVDC	Доступ к электричеству на основе технологий постоянного тока низкого напряжения	заявка рассматривается
SyC SM	Умное производство	заявка рассматривается
SyC Smart Cities	Электротехнические аспекты умных городов	ПТК 706
SyC Smart Energy	Умная энергетика	ТК 016

Результатом развернутой и структурированной работы по международной стандартизации является *обеспечение технологической и информационной совместимости систем управления, безопасность оборудования, унификация требований, ускорение и масштабирование внедрения новых технологий*. Например, важным направлением деятельности нового системного комитета МЭК – SyS Smart Energy является разработка интегральной платформы взаимосвязи систем управления электро-, тепло-, газоснабжением (Рис. 8). Одним из главных эффектов для стран и регионов является масштабируемость разработанных решений на соответствующих уровнях. Примеры такой масштабируемости приведены в Таблице 1 для Германии (DIN/DKE), Великобритании (BSI) и России (Росстандарт). При этом работа выстраивается по принципу дороги с двухсторонним движением – наилучшие национальные решения переносятся на региональный и международный уровни, а передовые международные стандарты на основе консенсуса становятся базой для развития стандартизации в странах и регионах.

Особое внимание должно быть уделено к защите данных в процессах управления критически важной инфраструктуры и систем умных городов, выполняемых, как правило, в реальном времени.

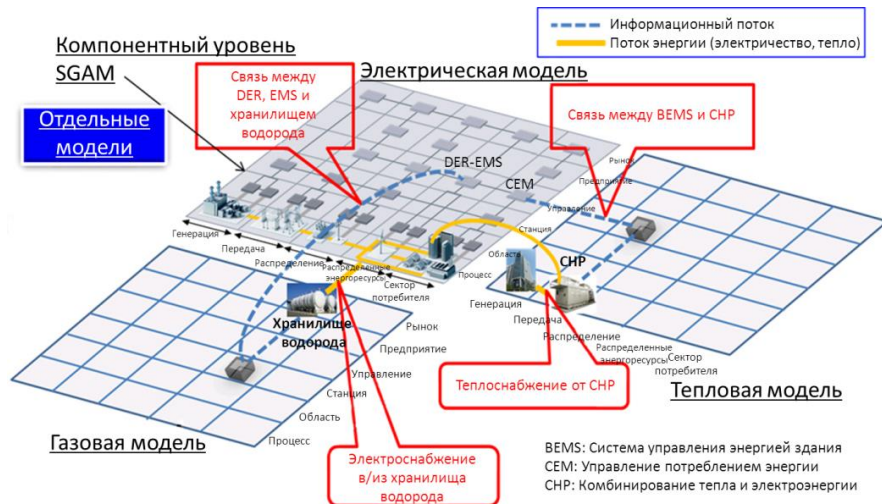


Рис. 8. Модель взаимодействия компонентного уровня трех видов энергий

Существенное расширение способов обеспечения коммуникаций, появление (на ряду с традиционными) новых объектов управления, в том числе объектов малой мощности на стороне активных и особо ответственных категорий потребителей, интеллектуальных приборов и устройств, подключаемых к сети общего пользования и агрегируемых для оказания системных услуг, может нести значительные риски сложившейся практике автоматического управления в системах жизнеобеспечения умных городов в силу широкого применения на низовом уровне протоколов интернета и технологий облачных вычислений. В будущем потребуются более четкое разделение задач технологического и общего производственного управления в части используемых средств обработки и передачи данных, управления активами и проектами на всем жизненном цикле объекта/оборудования, поддержки виртуальных/цифровых моделей объектов (инфраструктур) умного города.

5 Выводы

1. Важнейшим трендом современного общества является продолжающийся рост городов, формирование мега- и гигаполисов. Для устойчивого развития умных городов необходимы системный подход, выработка критериев учета безопасности, надежности, энергоэффективности, экологии. Требуется решение задач глубокой модернизации существующей инфраструктуры городов, повышения их эффективности, функциональной совместимости, применения прорывных энергетических, информационных и коммуникационных технологий и кардинального развития систем управления.

2. Для обеспечения жизнеспособности умного города необходимы комплексные решения, интегрирующие градостроительство и взаимодействие критически важной инфраструктура, включая электро-, тепло-, газо-, водоснабжение, системы связи и телекоммуникаций, транспорт, управление отходами.
3. Применение промышленного интернета, современных ICT и технологии блокчейн, в сочетании с модернизированными системами управления энерго-жизнеобеспечивающих инфраструктур позволяет решить задачи и горизонтальной интеграции, и координации с верхним уровнем управления от конечного потребителя на всем городском пространстве.
4. Рекомендуется активизировать участие представителей российских компаний и экспертов в международных организациях по стандартизации (ISO, IEC, ITU, IEEE) для обобщения знаний и применения универсальных решений и сквозных технологий в развитии умных городов в России, обеспечения технологической и информационной совместимости, кибербезопасности, развития национальных стандартов в данной сфере.

Благодарность. Исследование выполнено в рамках Госзадания (регистрационный номер НИОКТР АААА-А16-116051810068-1)

Литература

1. IEC White Paper «Orchestrating Infrastructure for sustainable Smart Cities», 2015
2. DIN/DKE/VDE «The German standardization roadmap Smart City», 2014
3. IEC White Papers «Factory of the Future», 2015
4. IEC White Paper «IoT 2020: Smart and secure IoT platform», 2016
5. IEC TR 63097 «Smart grid standardization roadmap», 2017
6. Энергоэффективный мегаполис – Smart City «Новая Москва»/Под общей редакцией В.В. Бушуева, П.А. Ливинского, М.: ИД «Энергия», 2015
7. Ю.Н. Кучеров, Ю.Г. Федоров «Концептуальные направления развития энергетической инфраструктуры умного города», Энергетическая политика №5, 2014, с. 64-71.
8. А.В. Шихина Основные тенденции развития Smart City, МКА, №1, 2016
9. Ю.Н. Кучеров, С.А. Утц, Д.Н. Ярош «Современные тенденции развития электроснабжения мегаполисов с целью повышения управляемости режимов работы энергосистемы», Электричество №6, 2017, с.4 – 15.
10. Приоритетные направления внедрения технологий умного города в российских городах, ЦСР Северо-запад, Москва, июнь 2018.
11. Ю.Н. Кучеров «Мировые тенденции развития техники и технологий для больших электроэнергетических систем» / В кн.: Современные тенденции развития техники и технологий электроэнергетических систем. Учебное пособие для вузов. М.: Издательство МЭИ, 2018 408 с. ISBN 978-5-7046-1958-1
12. Развитие стандартизации интеллектуальных систем электроснабжения будущего, журнал «Энергия единой сети» № 3 (38), 2018, Иванов А.В., Кучеров Ю.Н., Корев Д.А., Самков В.М.
13. Технологии активных потребителей и их интеграция в электрическую сеть общего пользования / журнал «Энергетическая политика», № 5, 2018, Кучеров Ю.Н., Иванов А.В., Д.А. Корев, Н.А. Уткин, А.З. Жук

14. Smart City: Обзор подходов и российская практика внедрения/ Доклад на World Smart Energy Summit, 26 – 27 March 2019, Moscow// Д.А. Корев, Ю.Н. Кучеров, А.В. Иванов, С.А. Утц, А.В. Шихина <http://smartenergysummit.ru>

Reference

1. IEC White Paper “Orchestrating Infrastructure for sustainable Smart Cities”, 2015
2. DIN / DKE / VDE “The German standardization roadmap Smart City”, 2014
3. IEC White Papers “Factory of the Future”, 2015
4. IEC White Paper “IoT 2020: Smart and secure IoT platform”, 2016
5. IEC TR 63097 “Smart grid standardization roadmap”, 2017
6. Energy-efficient metropolis - Smart City “New Moscow” / Edited by V.V. Bushueva, P.A. Livinsky, M.: Publishing House “Energy”, 2015
7. Yu.N. Kuchеров, Yu.G. Fedorov “Conceptual directions for the development of the energy infrastructure of a smart city”, Energy Policy No. 5, 2014, p. 64-71.
8. A.V. Shikhina The main development trends of Smart City, ICA, No. 1, 2016
9. Yu.N. Kuchеров, S.A. Utz, D.N. Yarosh “Current trends in the development of electric supply of megacities with the aim of increasing the controllability of the operating modes of the energy system”, Electricity No. 6, 2017, pp. 4-15.
10. Priority areas for the implementation of smart city technologies in Russian cities, Central Development Center North-West, Moscow, June 2018.
11. Yu.N. Kuchеров “World trends in the development of engineering and technology for large electric power systems” / In: Modern trends in the development of engineering and technology of electric power systems. Textbook for universities. M.: Publishing House MPEI, 2018 408 p. ISBN 978-5-7046-1958-1
12. Development of standardization of intelligent power supply systems of the future, journal “Energy of a Unified Network” No. 3 (38), 2018, Ivanov A.V., Kuchеров Yu.N., Korev D.A., Samkov V.M.
13. Technologies of active consumers and their integration into the public electric grid / journal “Energy Policy”, No. 5, 2018, Kuchеров Yu.N., Ivanov A.V., D.A. Korev, N.A. Utkin, A.Z. beetle
14. Smart City: Overview of approaches and Russian implementation practice / Report at the World Smart Energy Summit, March 26-27, 2019, Moscow // D.A. Korev, Yu.N. Kuchеров, A.V. Ivanov, S.A. Utz, A.V. Sheikhina <http://smartenergysummit.r>

Development of new technologies energy life support Smart Cities

Y.N. Kuchеров¹¹, V.V. Bushuev², A.V. Ivanov¹,
D.A. Korev³, S.A. Utz⁴, A.V. Sheikhina⁵

¹Federal State Unitary Enterprise “Standardinform” (Rosstandart), Moscow, Russia

²Joint Institute for High Temperatures of the Russian Academy of Sciences (OIIT RAS),
Moscow, 125412, Russia

³АО «РVK», Moscow, Russia⁴АО «SO UES», Moscow, Russia⁵JSC «RTSoft», Moscow, RussiaEmail: ¹ jk.velegozhlife@gmail.com

Abstract. The article discusses the challenges of integrating new energy and information technologies for large cities, with the aim of increasing the efficiency of the main sectors of the urban environment. Summarizing global trends in the development of smart cities, the harmonious combination of artificial and natural environment, the impact of the new technological order (Industry 4.0) and intelligent control systems for the organization of life-supporting infrastructure. Trends in the development of standardization of solutions and technologies in different cities.

Keywords: smart city, energy saving, critical infrastructure, sustainable development, new technologies, integrated solutions, horizontal integration, distributed energy, active consumer, standardization.

Acknowledgement. The study was carried out as part of the State Assignment (registration number R&D AAAA-A16-116051810068-1).

УДК 622.33(470)

Угольная отрасль России: вызовы и современные тенденции развития

В.В. Саенко [0000-0003-0901-0371]

Институт народнохозяйственного прогнозирования Российской академии наук (ИНП
РАН), Москва, 117418, Россия

E-mail: vv_saenko@mail.ru

Аннотация. Дана детальная оценка внутреннего и внешнего спроса на российский уголь. Проведен подробный анализ состояния угольной промышленности страны. Показана роль логистики в эффективности поставок твердого топлива на внутренний и внешний рынок. Разработан прогноз развития угольной промышленности до 2025 года. Предложены пути решения проблем, сдерживающих развитие отрасли.

Ключевые слова: угольная промышленность, анализ, прогнозирование, логистика, эффективность поставок, основные проблемы.

1 Введение

Угольная промышленность является одной из системообразующих в экономике России. В отрасли в настоящее время занято около 150 тысяч человек, а с членами семей - около 700 тысяч. Угольные предприятия являются градообразующими для 31 моногорода с суммарным населением 1,5 млн. человек.

В настоящее время угольная промышленность является рентабельной отраслью, полностью функционирующей в рыночной среде. В результате приватизации предприятий угольной промышленности практически вся добыча и обогащение осуществляется организациями с частной формой собственности. Исключение составляет государственное предприятие «Арктикуголь» добывающее уголь на острове Шпицберген (0,1% от добычи в России).

Фонд действующих угледобывающих предприятий по состоянию на 01.01.2018 г. насчитывал 180 предприятий (61 шахту и 119 разрезов); переработка угля осуществлялась на 65 обогатительных фабриках и установках.

Предприятия угольной промышленности можно разделить на 3 группы (угольные, угольно-металлургические и угольно-энергетические). В первую группу входят компании занимающиеся преимущественно только добычей и обогащением угля, крупнейшие из которых АО ХК «СДС-Уголь» и ОАО «Русский

Уголь». Предприятия, добывающие коксующиеся угли, встроены в систему металлургического бизнеса: ОАО «Мечел-Майнинг», «ЕВРАЗ», «Северсталь Ресурс», ООО «Холдинг Сибуглемет». К энергоугольным компаниям относятся АО «СУЭК», ООО «Компания Востсибуголь», которая входит в Еп+ Group.

Уголь занимает важное место в топливно-энергетическом балансе страны: на его долю приходится в настоящее время около 13% в суммарном производстве и потреблении ТЭР (11,7% и 16,2% соответственно в 2000 г.). [5]. Примерно 50% электроэнергии в Восточной Сибири и на Дальнем Востоке вырабатывается на угольных электростанциях.

Уголь является грузом №1 для ОАО «РЖД», на его долю приходится более трети всего грузооборота страны.

Россия является одним из лидеров по запасам, добыче и экспорту угля в мире. На ее долю приходится треть мировых ресурсов и пятая часть разведанных запасов угля (более 190 млрд.т). Обеспеченность запасами текущей добычи угля в России составляет более 500 лет. По добыче угля Россия занимает шестое место в мире (5,4% мировой добычи), а по экспорту-3 место (13,9% мирового экспорта).

Исследования по анализу и прогнозированию угольной промышленности в стране ведутся в академических институтах (ИНЭИ РАН, ИСЭМ СО РАН, ИЭи-ОПП СО РАН, ИНП РАН), Минэнерго России (ЦНИИЭуголь), независимых аналитических центрах (ИНКРУ, Росинформуголь). Значительный вклад в разработку проблем анализа и перспектив развития угольной промышленности в последнее время посвящены работы Яновского А.Б. [1], Плакиткина Ю.А., Плакиткиной Л.С. [2], Ковальчука А.Б., Скрыля А.И. [3], Таразанова И.Г.[4].

Однако до сих пор не дана детальная оценка внутреннего и внешнего спроса на российский уголь. Отсутствует подробный анализ состояния угольной промышленности страны с оценкой роли логистики в эффективности поставок твердого топлива на внутренний и внешний рынок. Эти проблемы являются предметом исследования данной работы.

Выполненные исследования служат основой приведенного ниже прогноза развития угольной отрасли России до 2025 года и позволяют наметить пути решения проблем сдерживающих развитие отрасли.

2 Спрос на уголь

Развитие добычи угля в России было обусловлено в ретроспективном периоде особенностями внешнего и внутреннего спроса на твердое топливо. Причем драйвером роста был внешний спрос. Примерно с 2000 года внешний спрос на уголь начал расти очень высокими темпами и только в последние несколько лет он замедлился, а в 2014-2017 годах и не значительно сократился. Так, за период 2000-2015 гг. мировой спрос на уголь вырос на 64%, а доля угля в мировом потреблении выросла с 23 до 29%. Мировое потребление коксующихся углей выросло за период примерно в 2,25 раза, а энергетических (включая лигниты) на

57%. При этом абсолютное значение прироста энергетических углей было в 4,1 раза больше, чем коксующихся (табл.1).

Таблица 1. Динамика мирового потребления угля, млн. т

	2000	2005	2010	2015	2016	2017
Китай	1290	2307	3443	3788	3643	3654
Индия	357	464	683	886	902	943
США	966	1030	950	719	658	641
Германия	239	242	231	239	232	222
Япония	154	178	187	191	187	189
Россия	238	214	202	196	191	183
ЮАР	157	175	189	180	186	186
Польша	143	142	141	135	135	136
Ю. Корея	72	82	120	134	135	150
Австралия	128	140	134	117	117	118
Индонезия	23	42	60	90	95	101
Всего	4701	6038	7361	7709	7507	7586
в том числе:						
энергетический уголь	4424	5377	6446	6659	6502	6588
коксующийся уголь	477	661	915	1050	1005	998

Источники:[5],[6].

Большую часть прироста потребления углей обеспечили в рассматриваемом периоде развивающиеся страны Азии. Крупнейшими потребителями угля в настоящее время являются Китай (около половины мирового потребления), Индия, США, Германия, Япония, Россия, Южная Африка, Республика Корея.

Но особенно динамично в рассматриваемом периоде росла торговля углем (в 2,2 раза), достигнув в 2017 году 1,4 млрд.т. Причем примерно 85% прироста обеспечили энергетические угли. На морской транспорт приходится около 88% всей мировой торговли углем в настоящее время. В результате доля торговли углем в его мировом потреблении возросло с 13,3% в 2000 году до 18,3% в 2017 г.

Крупнейшие импортеры угля находятся в Азии - это Китай, Индия, Япония и Республика Корея. На эти страны приходится около 59% суммарного импорта угля в 2017 г. (таблица 2).

Таблица 2. Динамика мирового импорта угля, млн. т

	2000	2005	2010	2015	2016	2017
Китай	2	26	184	204	256	271
Индия	21	39	122	212	194	208
Япония	151	178	187	189	186	188
Ю. Корея	65	77	119	134	135	148
Тайвань	45	60	63	65	66	68
Германия	30	37	46	55	58	48
Всего	626	806	1096	1305	1318	1387
в том числе:						
энергетическим углем	445	610	838	1044	1039	1093
коксуемым углем	181	196	258	261	279	294

Источник:[5].

Столь стремительный рост международной торговли углем объясняется следующими причинами:

-устойчивым ростом спроса на уголь стран АТР, в том числе не имеющих собственной развитой угольной базы (Японии, Республике Корея, Тайване, Малайзии и др.)

-сокращением добычи угля в европейских странах (Франции, Великобритании, Германии, Польше);

-решением ряда экологических проблем, связанных с добычей, переработкой и потреблением твердого топлива;

-формированием транснациональных угледобывающих компаний и концентрацией производства в регионах с благоприятными условиями и низкими затратами на добычу и транспортировку твердого топлива.

Крупнейшими экспортерами угля в настоящее время являются: Австралия, Индонезия и Россия. Эти три страны обеспечивали в 2017 году около 70% мирового экспорта угля. Если Индонезия вывозит практически только энергетические угли, то Австралия и Россия торгуют и энергетическими и коксующими углями, причем Австралия экспортирует больше коксующихся углей, а Россия - энергетических. Крупными экспортерами коксующихся углей являются также США и Канада (табл.3).

Таблица 3. Динамика мирового экспорта угля, млн. т

	2000	2005	2010	2015	2016	2017
Австралия	187	232	293	392	389	379
Индонезия	57	129	265	368	373	391
Россия	44	80	117	156	171	190
США	53	45	74	67	55	88
Колумбия	35	54	68	73	83	86
ЮАР	70	71	67	76	70	71
Канада	32	28	32	31	30	31
Всего	624	819	1074	1305	1327	1370
в том числе						
энергетический уголь	437	613	799	1000	1014	1043
коксуемый уголь	187	206	275	305	313	327

Источники: [5],[6].

Таблица 4. Динамика экспорта российского угля, млн. т

	2000	2005	2010	2015	2016	2017
Всего	44	80	117	156	171	190
Для коксования	8	10	11	19	15	16
В Дальнее зарубежье	38	73	88	140	149	171
Доля России в мировой торговле углем, %	7	10	9	12	13	14
Доля России в мировой торговле коксуемым углем, %	4	5	4	6	5	5

Источники: [5],[7].

Экспорт угля из России вырос за 2000-2017 гг. в 4,3 раза и достиг 190 млн. т, в том числе коксующегося в 2 раза, что выше темпов роста мировой торговли твердым топливом. Таким образом, Россия увеличила свою долю на мировом угольном рынке на 7%, а по коксующимся углям на 1% (табл.4). Крупнейшими импортерами российского угля в настоящее время являются Корея, Великобритания, Китай и Япония.

Основным поставщиком угля на мировой рынок является Сибирский ФО (в 2017 году-89% экспорта), в том числе Кузбасс - 73%. В дальнейшем зарубежье поставлялось около 90% общего объема российского экспорта. Причем большая часть экспорта отгружалась через морские порты (около 68% в 2017 году), в том числе около 50% через восточные. Крупнейшими экспортерами угля являются АО «СУЭК», ОАО УК «Кузбассразрезуголь», АО ХК «СДС-Уголь» и ОАО «Мечел-Майнинг» (56% российского экспорта в 2017 году) - рис.1.

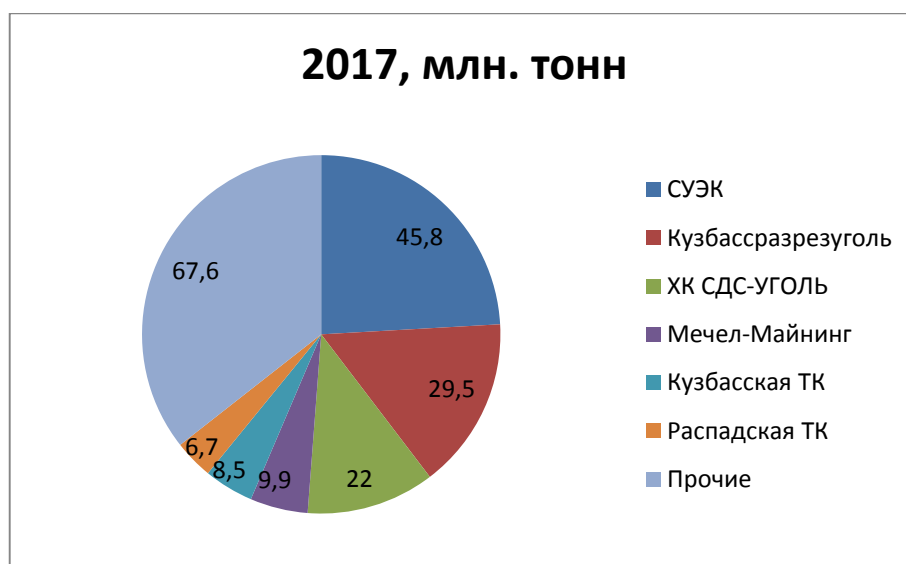


Рис. 1. Крупнейшие экспортеры российского угля в 2017 году, источник: [7].

Столь впечатляющие успехи России на мировом рынке угля объясняются благоприятной его конъюнктурой. Цены мирового рынка на уголь начали стремительный рост в 2003 году и достигли максимума в 2011 году (229 \$/т для коксующихся и 136 \$/т для энергетических углей CIF Япония), после чего снизились на 27% для энергетических и на 34% для коксующихся углей в 2017 году. Всего за рассматриваемый период цены CIF северо-западная Европа выросли в 2,4 раза, CIF Япония (энергетический уголь) в 2,8 раза и CIF Япония (коксующийся уголь) в 3,8 раза. А на максимуме (в 2011 по сравнению с 2000 годом) соответственно в 3,4, 3,9 и 5,7 раза (табл.5).

Таблица 5. Динамика мировых цен на уголь, \$/ т

	2000	2005	2011	2015	2016	2017
Цена угля в северо-западной Европе (рыночная)	36	61	122	57	60	85
Цена импортируемого энергетического угля CIF Япония	35	63	136	80	73	99
Цена импортируемого коксующегося угля CIF Япония	40	89	229	94	89	150

Источник: [8].

Внутреннее потребление угля снижалось на протяжении всего рассматриваемого периода (за исключением короткого периода перед кризисом 2008-2009 гг.). В 2016 году оно было на 15% ниже уровня 2000 года и составило 127,1 млн.т.т. Причем снижение внутреннего потребления угля отмечалось по всем направлениям использования, кроме конечного, но наиболее масштабно - на преобразование в другие виды энергии (на 19%) и в качестве сырья (на 15%). Конечное потребление увеличилось на 5% (табл.6), при этом большая его часть в настоящее время сконцентрировано в промышленности (около 70%).

Таблица 6. Динамика внутреннего потребления угля, млн.т.т

	2000	2005	2010	2015	2016
Потребление, млн.т.т.	150,3	134,6	128,9	131,3	127,1
в том числе:					
на преобразование в другие виды энергии	101,3	92,3	88	84,6	82,2
в качестве сырья					
на переработку в другие виды топлива	32,6	31,5	26,8	27,4	27,7

	2000	2005	2010	2015	2016
на производство нетопливной продукции	0,3	0,2	0,2	0,2	0,3
на нетопливные нужды	0,1	0,2	0	0,1	0,1
на конечное потребление	16	10,4	13,9	19	16,8

Источник: [6].

На российском рынке помимо отечественных потребляются казахстанские угли (экибастузские и карагандинские). Их доля в общем объеме поставок углей на российский рынок составила в 2017 году около 12 %. Завоз углей из Казахстана, объясняется не дефицитом российских углей, а тем фактом, что работающие еще с советских времен ряд электростанций Урала и Западной Сибири имеют в качестве проектного топлива дешевый экибастузский уголь.

Анализ поставок углей на российский рынок показывает те же тенденции, которые характерны и в его потреблении. Так общий объем поставок углей за 2000-2017гг. снизился на 17% (российского на 18%). При этом завоз углей на электростанции снизился на 14%, а на коксохимзаводы на 24% (табл.7).

Таблица 7. Поставки угля на российский рынок, млн. т

	2000	2005	2010	2015	2016	2017
Всего с учетом импорта	233,1	213,8	209,7	197,5	186,5	193
электростанции-всего	127,9	110	124,8	114,2	104,8	109,7
нужды коксования-всего	43,1	40,4	39,2	36	34	32,8
нужды населения, комбыт-всего	22,1	29	25,2	23,4	20,5	21,8
остальные потребители-всего	40	34,4	20,5	23,9	27,2	28,7

Источник:[7].

Почему так происходило? Что касается потребления углей в электро- и тепло-энергетике то основная причина здесь сложившаяся диспропорция в ценах на энергетический уголь и природный газ. В основе этой диспропорции лежит не рыночное соотношение регулируемых оптовых цен на природный газ и свободных цен на уголь. В настоящее время это соотношение составляет 1,7:1(в условном исчислении). Расчеты, выполненные в рамках Энергетической стратегии показали, что рыночное соотношение должно быть 1:2,5-3,0, то есть только в этом случае будет обеспечена конкурентоспособность угля с газом на электростанциях России. Снижение потребления коксующихся углей в черной металлургии объясняется двумя причинами. Первая-это расширение применения бездоменной технологии производства стали, а вторая-увеличение применения энергосберегающих технологий в металлургии, что привело к снижению удельных расходов энергоресурсов, том числе кокса.

3 Добыча и обогащение угля

В соответствии с проанализированным внутренним и внешним спросом формировалась и производственная структура отрасли. Благодаря благоприятной внешней конъюнктуре добыча угля выросла за 2000-2017 гг. на 59% и достигла 410,9 млн.т. Причем темпы роста добычи энергетических углей были существенно выше, чем коксующихся, что было обусловлено динамикой внешнего спроса. Поскольку развитие отрасли в рассматриваемый период было экспортно-ориентировано, весь прирост обеспечили высоко транспортабельные каменные угли (включая антрациты), в то время как объем добычи бурых углей снизился на 11,3 млн.т. (табл.8).

Таблица 8. Динамика годовой добычи угля в России, млн. т

	2000	2005	2010	2015	2016	2017
Уголь, всего	258,2	298,3	321,8	371,6	386,5	410,9
Уголь каменный	172	223	245	298	313	336
в т.ч. коксующийся	62,3	68,7	66,9	82,9	83,8	86,2
в т.ч. антрацит	9,7	8,6	8,7	13,5	13,4	19,2
Уголь бурый	86,2	75,3	76,8	73,6	73,5	74,9

Источник: [7].

В связи с более благоприятной ценовой конъюнктурой на угольном рынке АТР и необходимостью повышения конкурентоспособности отрасли, в рассматриваемом периоде произошел существенный сдвиг добычи угля на Восток, при этом доля восточных районов (Сибирского и Дальневосточного округов) в общей добыче угля выросла за 2000-2017 гг. на 10% (с 86% до 96%). Основную часть

прироста добычи угля в стране обеспечил Кузнецкий бассейн (около 84%). Поскольку на востоке страны размещены запасы высокоэффективного угля, пригодного для отработки открытым способом, выросла и его доля в общей добыче с 65% до 74% (таблица 9).

Таблица 9. Динамика территориальной структуры добычи угля, млн.т

	2000	2005	2010	2015	2016	2017
Печорский	18,4	13	13,6	14,6	10,7	9
Донецкий	9,7	7,7	4,7	5,2	4,2	5,8
Кузнецкий	113,4	167,1	185,1	215,6	227,9	241,1
Канско-Ачинский	40	36,5	40,9	38,3	37,4	38,4
Доля добычи открытым способом %	64,8	65,1	68,5	72,2	73	74,2
Доля Востока %	85,9	91,2	93,4	94,2	96	96
Доля Кузбасса %	44	55,7	57,2	57,8	59	59

Источник: [7].

Крупнейшими компаниями по добыче угля в стране являются АО «СУЭК», ОАО «УК Кузбассразрезголь», АО «СДС-Уголь», ОАО «Мечел-Майнинг», ЕВРАЗ. На долю этих 5 компаний в 2017 году приходилось 55% общей добычи угля в стране (табл.10).

Таблица 10..Динамика добычи угля по компаниям, млн. т

	2005	2010	2015	2016	2017
АО СУЭК	83	86,8	97,8	105,4	107,8
ОАО УК Кузбассразрезголь	42,8	49,7	44,5	45,3	47,2
АО ХК СДС-Уголь	9,2	15,7	30	28,6	27,6
ОАО Мечел-Майнинг	25,4	23,2	23,2	22,7	20,6
Евраз	26,7	18,5	20,6	21,7	22,4

Источник: [7].

В связи с тем, что качество добываемых углей в России не высоко, в рассматриваемом периоде переработка углей росла опережающими добычу темпами. В настоящее время на обогатительных фабриках перерабатывается 47% всех добываемых углей (более 190 млн. т), в том числе весь коксующийся и 30% энергетического угля (в 2000г. соответственно 33%, 95%, 14%). Значительно увеличился выпуск концентрата и сортовых углей (табл.11).

Таблица 11. Динамика переработки угля на обогатительных фабриках России, млн. т

	2000	2005	2010	2015	2016	2017
Переработка-всего	84,8	91,8	124,4	169,2	186,6	191,2
коксующийся уголь	57,9	64,2	66,8	87,8	93,7	91,9
энергетический уголь	26,9	27,6	57,6	81,4	92,9	99,3
Выпуск концентрата	49,5	56,4	71	97,6	104,4	108,6
для коксования	39,1	45,3	44,5	55,4	59,5	58,4
Выпуск углей крупных и средних классов	18,6	16	15,8	17,3	15,2	16,8

Источник: [7].

Увеличение охвата энергетических углей обогащением связано с необходимостью повышения их транспортабельности, прежде всего на экспорт. Темпы роста обогащения углей были максимальными в Кузнецком бассейне (табл.12).

Таблица 12. Динамика обогащения угля по основным бассейнам, млн. т

	2000	2005	2010	2015	2016	2017
Печорский бассейн	14,8	12,3	14	13,4	10,1	7,8
в т.ч. для коксования	9,1	8,8	10,9	12	8,9	7,5
Донецкий бассейн	9,4	6,5	2,7	3,5	3,1	4,1

	2000	2005	2010	2015	2016	2017
в т.ч. для коксования	0,9	0,5	0	0	0	0
Кузнецкий бассейн	43	59,5	84,3	110,2	125,5	129
в т.ч. для коксования	43	49,9	49,3	66,3	73,6	73,5

Источник: [7].

В 2000-2017 гг. угольная промышленность повысила свою эффективность: об этом свидетельствует динамика ее технико-экономических показателей. Так, производительность труда рабочего по добыче за рассматриваемый период выросла в 2,9 раза-до 322,4т/ месяц, среднесуточная добыча из действующего очистного забоя - в 4,5 раза. Концентрация производства и повышение его эффективности привели к тому, что средняя численность персонала по добыче и обогащению угля снизилась за рассматриваемый период в 2,6 раза-до 141 тыс. человек (табл.13). При этом среднемесячная зарплата одного работника угледобычи и переработки увеличилась в 14,5 раза, что меньше аналогичного показателя по стране в целом (17,6 раза).

Таблица 13. Динамика технико-экономических показателей угольной промышленности России.

	2000	2005	2010	2015	2016	2017
Производительность труда рабочего по добыче, т	110,3	142,5	193,8	289	303,6	322,4
Среднесуточная добыча угля из действующего очистного забоя, т	1070	1722	2641	4247	4594	4767
Средняя численность персонала по добыче и обогащению угля, тыс. чел.	370,3	246,1	168,8	148	139,4	140,9

	2000	2005	2010	2015	2016	2017
Среднемесячная зарплата одного работника угледобычи и переработки, тыс .руб.	3,6	13,6	27,3	44,4	48,2	52,2

Источник: [7].

Динамика финансово-экономических показателей угольной промышленности была обусловлена в рассматриваемом периоде, с одной стороны, складывавшейся конъюнктурой внутреннего и особенно внешнего рынков твердого топлива, а с другой динамикой затрат на продукцию и услуги отрасли и смежных отраслей, прежде всего транспорта. Затраты на добычу и обогащения угля выросли за 2000-2017 гг. в 11,1 раза и достигла 2268 руб./т (табл.14). В структуре себестоимости наибольший удельный вес занимают материальные затраты (сырье, материалы, топливо и энергия) и оплата труда. Стоит отметить существенный рост затрат на оплату услуг сторонних организаций - в 29 раз за 2000-2017 годы. В результате их доля в затратах на производство и продажу угля выросла с 16% в 2000 г. до 42% в 2017 г., что было обусловлено прежде всего ростом транспортных затрат. При этом рентабельность добычи и обогащения угля возросла с 3% в 2000 году до 34% в 2017 году.

Таблица 14. Динамика финансово-экономических показателей добычи и обогащения угля, руб./ т

	2000	2005	2010	2015	2016	2017
Выручка / Цена реализации	209	604	1529	2139	2382	3033
Затраты на производство и продажу	205	491	1076	1835	1972	2268
В том числе :						
Материальные затраты	98	253	618	1184	1311	1584
Оплата труда	46	106	166	218	219	227
Страховые взносы в Пенсионный фонд, ФСС, ФФОМС, ТФОМС	20	26	41	72	72	74

	2000	2005	2010	2015	2016	2017
Амортизация основных средств	14	28	89	145	154	149
Прочие затраты	27	78	162	216	216	234
в том числе налоги, входящие в себестоимость	8	22	46	33	34	45
Из затрат на производство и продажу оплата услуг сторонних организаций	32	110	285	660	738	943

Источник: [9].

Что касается динамики инвестиций, то за 2005-2017 гг. они возросли в 3,2 раза, достигнув максимума в 2012 году-127 млрд. рублей. Доля собственных средств в структуре инвестиций выросла с 71% в 2005 году до 80% в 2017 году (табл.15). При этом инвестиции формировались примерно пополам из амортизации и прибыли.

Таблица 15. Динамика инвестиций в добычу и обогащение угля, млрд. руб.

	2005	2010	2012	2014	2015	2016	2017
Инвестиции, всего	36,9	56,9	126,9	71,1	68,7	85,6	116,5
В том числе:							
Собственные средства	26,2	45,5	96,8	56,4	55,2	65,4	93,7
Привлеченные средства	10,7	11,4	30,1	14,7	13,5	20,2	22,8

Источник: [10].

4 Транспорт угля и эффективность поставок твердого топлива на внутренний и внешний рынок

Транспорт угля - значимый сегмент, определяющий развитие, как инфраструктуры железнодорожного транспорта, так и угледобывающей отрасли. За 2000-2017 гг. объем перевозок каменного угля железнодорожным транспортом увеличился на 49% и достиг 361,5 млн.т.

Практически все субъекты Российской Федерации потребляют уголь, но лишь 24 из них производят его. Это вызывает массовые перевозки угля. На него приходится более трети от всех перевозимых грузов в целом по железнодорожной системе страны, а по некоторым участкам Транссиба доходит до 70%.

При этом среди прочих сырьевых грузов уголь характеризуется высокой дальностью перевозок, которая может достигать 5500 км, что значительно превышает дальность грузовых железнодорожных перевозок в других странах. Средняя дальность перевозок угля составляет более 2200 км.

Логистика (железнодорожный транспорт и перевалка в порту) играет важную роль в угольном бизнесе, ее доля в конечной стоимости продукта порой доходит до 50 и более процентов при международных поставках. Для сравнения: в нефтяной отрасли затраты на транспорт составляют менее 10%, в алюминиевой — между 10 и 20%, в металлургии — чуть менее 20%.

Анализ показывает, что доля транспорта в цене приобретения энергетического угля составляла в 2017 году 23-42% и значительно меньше в конечной стоимости коксующегося угля - до 10% для потребителей внутреннего рынка (табл.16).

Таблица 16. Структура цен приобретения угля на внутреннем рынке (октябрь 2017 г.), руб./т

	Поставка энергетического угля в Омск*	Поставка энергетического угля в Екатеринбург*	Поставка энергетического угля в Тулу*	Поставка коксующегося угля в Забайкальск**	Поставка коксующегося угля в Екатеринбург**
Цена приобретения угля	3335	3755	4430	11080	11885
Ж/Д транспорт угля (с НДС)	755	1175	1850	400	1175
НДС	430	430	430	1780	1780
Цена FCA Кузбасс (без НДС)	2150	2150	2150	8900	8900

	Поставка энергетического угля в Омск*	Поставка энергетического угля в Екатерин- бург*	По- ставка энерге- тичес кого угля в Тулу*	Поставка коксуя- щегося угля в За- ринск (Ал- тай)**	Поставка коксуя- щегося угля в Екате- рин- бург**
Доля транспортных затрат в цене приобретения	23%	31%	42%	4%	10%

*Уголь Тр калорийностью 6000 ккал/кг; ** Твердый концентрат марки Ж.
Источники: расчеты автора на основе [11],[12].

Что касается внешнего рынка, то тут влияние логистики возрастает. Что касается экспорта энергетического угля, то затраты на логистику (железнодорожный транспорт и перевалку в порту) составляли в 2017 году до 53% цены FOB, в том числе на железнодорожный транспорт-38%. При экспорте коксующихся углей затраты на логистику были несколько меньше - 18% (табл.17).

Таблица 17. Структура цен экспортируемого угля из России 2017 г.), руб./т

	Экспорт энергетиче- ского угля в Европу*	Экспорт энергетиче- ского угля в АТР*	Экспорт кок- сующегося угля в Ев- ропу**
Цена FOB Усть Луга// FOB Восточный /DAF Украина	5014	5678	10086
Перевалка в порту и сопутствующие расходы	848	860	75
ЖД транспорт по России	1727	2134	1750
Цена FCA Кузбасс	2439	2684	8261
Доля ЖД транспорта в цене FOB, %	34%	38%	17%

	Экспорт энергетиче- ского угля в Европу*	Экспорт энергетиче- ского угля в АТР*	Экспорт кок- сующегося угля в Ев- ропу**
Доля перевалки в цене FOB, %	17%	15%	1%
Доля затрат на логистику в цене FOB, %	51%	53%	18%

5 *Уголь Тр калорийностью 6000 ккал/кг; ** Твердый концентрат марки Ж.

6 Источники: расчеты автора на основе [11],[12].

Высокие затраты на логистику снижают конкурентоспособность угля как на внутреннем (проигрывает природному газу в электроэнергетике), так и на внешнем рынке.

Определенный интерес представляет сравнение затрат на логистику в России и в других странах. Анализ структуры цены FOB основных экспортеров угля позволяет выделить три группы стран. Первая группа-это страны с низким удельным весом затрат на логистику. К ним относятся Колумбия и Индонезия (доля затрат на логистику 10-15%). При этом основная часть затрат FOB для этих стран приходится на добычу и обогащение угля (около 70%). Вторая группа-это страны со средними значениями затрат на логистику(20-30%) и относительно высокими затратами на добычу и обогащение угля (ЮАР и Австралия). И, наконец, третья группа, в которую входят Россия и США, характеризуется высокими затратами на логистику(45-55%) и средними значениями затрат на добычу и обогащение угля. Причем для России характерно экстремально высокое значение затрат на перевалку угля (до 21%) при средней величине в мире около 6% и очень низкая доля налогов (табл.18).

Таблица 18. Структура цены FOB у крупнейших экспортеров угля, %

	Добыча	Обогащение	Налоги	Ж/д транс- порт	Загруз- ка в порту	Итого FOB
Индонезия	40	10	19	24	7	100
ЮАР (откр.)	57	11	0	26	6	100
Колумбия	67	6	15	6	6	100
ЮАР (подзем.)	64	10	0	21	5	100
Индонезия	60	8	21	5	6	100

	Добыча	Обогащение	Налоги	Ж/д транс- порт	Загруз- ка в порту	Итого FOB
Австралия Квинсленд (откр.)	58	4	10	21	7	100
США NAPP (подзем.)	32	6	13	45	4	100
Австралия Н.Южн.Уэльс (подзем.)	64	8	9	15	4	100
США SAPP (подзем.)	38	5	13	41	3	100
Россия	31	11	3	33	22	100

Источник: [13].

Рассмотрим теперь эффективность поставок угля на внутренний и внешний рынок (табл. 16 и 17). Как показывают проведенные расчеты (2017 год), цена FCA Кузбасс при поставках на внешний рынок была выше, чем на внутренний для энергетических углей на 13-25%, а для коксующихся – ниже на 7%. Причина этого заключается в том, что на российском рынке наблюдается избыток энергетических углей, при том, что в этот период наблюдался дефицит ценных марок коксующихся углей. Эффективность экспорта энергетических углей на рынок АТР была выше, чем на европейский (примерно на 10%), что связано с резким ростом спроса на энергетические угли в АТР и снижением его потребления в Европе.

Несмотря на то, что себестоимость добычи угля на российских месторождениях сопоставима с себестоимостью добычи в других странах-экспортерах угля, FOB цена российского угля была весьма высокой. Как следует из анализа МЭА, российский энергетический уголь по своей FOB цене являлся в период высоких цен одним из самых дорогих, превосходя южноафриканский в 1,5 раза, а индонезийский в 2 раза. Положение резко изменилось в последние несколько лет. После падения курса рубля к доллару США, российский энергетический уголь в 2015-2017 гг. (по данным МЭА) по своей FOB цене был на уровне южноафриканского и индонезийского угля. Что касается российских коксующихся углей, то они были и остаются достаточно конкурентно способными, учитывая то обстоятельство, что маржинальная надбавка на коксующийся уголь выше, чем на энергетический.

7 Перспективы угольной промышленности

На основании выполненного анализа и произведенных расчетов на имитационной модели, было сформировано целевое видение развития угольной промышленности на среднесрочный период (до 2025 года).

При этом целями развития угольной промышленности являются:

1. надежное и эффективное удовлетворение внутреннего спроса на уголь и продукты его переработки;
2. сохранение и укрепление позиций отрасли на внешних рынках с переориентацией большей части объема экспорта угля на азиатский рынок;
3. кардинальное повышение производительности труда и снижение издержек производства и обращения в отрасли при росте уровня безопасности добычи угля и снижении вредного воздействия угольной промышленности на окружающую среду.

Модель среднесрочного прогнозирования функционирования отраслей ТЭК России представляет собой имитационную модель, в рамках которой происходит взаимоувязанная оценка физических и финансовых показателей угольного, нефтяного, газового секторов, а также электроэнергетики и теплоснабжения.

Основными экзогенными параметрами для модели являются:

- динамика и структура ВВП России;
- численность населения;
- цены реализации на внутреннем и внешнем рынках;
- курс доллара по отношению к рублю;
- индексы изменения цен (тарифов) на услуги инфраструктурных (естественных) монополий (для угольного сектора важным фактором является индексация железнодорожных тарифов);
- объем внешней торговли энергоресурсами;
- параметры налогообложения (налоговые сборы с угольного сектора относительно не велики, на долю НДС и налога на имущество приходится всего около 2% выручки отрасли);
- показатели эффективности использования топлив (например, удельный расход топлива в электроэнергетике).

Все экзогенные параметры модели соответствуют базовому варианту Прогноза социально-экономического развития Российской Федерации.

В структуре физического баланса угля выделяется производство, импорт, экспорт, потери и изменение запасов, а также внутреннее потребление в разрезе основных секторов – энергетика, промышленность, население.

Перспективный внутренний спрос моделируется на основе анализа удельного энергопотребления с учетом указанных выше экзогенных параметров (динамика и структура ВВП, население, показатели эффективности использования топлив). Наш опыт прогнозирования спроса на энергоресурсы показывает, что для моделирования процессов удельного энергопотребления на прогнозном периоде целесообразно использовать регрессионные зависимости преимущественно логарифмического типа, которые характеризуются затухающей динамикой и хорошо подходят для описания логики развития рассматриваемых процессов. Так, в отношении показателей удельного потребления угля в России мы используем снижающиеся логарифмические кривые, которые воспроизводят ситуации повышения эффективности использования топлива; увеличения добавленной стоимости промышленности на тонну используемого топлива; сдвига потребительских

предпочтений в пользу другого топлива (ярким примером является замещение угля газом в электроэнергетике).

Производство угля определяется исходя из смоделированного внутреннего потребления и объема его экспорта. Такой подход выглядит рациональным, поскольку в России в кратко- и среднесрочной перспективе мы не видим ограничений со стороны ресурсного потенциала угольной промышленности.

Во взаимосвязи с физическим балансом рассчитывается финансовый баланс отрасли с выделением следующих основных показателей:

- производственные затраты;
- амортизационные отчисления;
- транспортные затраты;
- налоговые платежи;
- чистая операционная прибыль;
- цены реализации.

Результатом расчетов является анализ сгенерированного объема собственных средств (амортизационные отчисления и чистая операционная прибыль) и структуры их использования. В числе направлений использования собственных средств выделяются инвестиции (увязанные с производственными показателями отраслей из физического баланса), а также выплаты долгов и дивидендов. Оценка выплат долгов и дивидендов реализуется на основе финансовой отчетности отраслевых компаний. Однако следует подчеркнуть, что в отличие от нефтяной и газовой промышленности, в угольном секторе ситуация с финансовой отчетностью компаний очень плохая. Фактически в открытом доступе отчетность доступна только у нескольких компаний (например, АО «СУЭК», ПАО «Мечел»), в результате чего выделение расходов на выплату долгов и дивидендов является проблематичным. Поэтому в структуре использования собственных средств угольного сектора рассматривались только инвестиции.

7.1 Физический баланс

Физический баланс угля определяется тенденциями внутреннего и внешнего спроса на твердое топливо (рис.2).



Рис. 2. Перспективный натуральный баланс угля. Источник: расчеты автора

7.2 Внутренний спрос

Внутренний спрос на энергетические угли на производство электроэнергии и тепла в среднесрочной перспективе будет формироваться с учетом масштабов модернизации угольных электростанций. Часть генерирующего оборудования на угле, будет выводиться из эксплуатации вследствие износа и снижения его эффективности, а также расширения системы децентрализованного электро- и теплоснабжения. Кроме того, в восточной части страны (прежде всего на Дальнем Востоке) продолжится газификация с переводом ТЭЦ и котельных в городах с угля на газ. В результате можно ожидать снижения спроса на уголь на производство электроэнергии и тепла.

Потребление энергетического угля в большинстве отраслей промышленности в рассматриваемом периоде будет снижаться. Исключение может составить только цементная промышленность, где можно ожидать некоторого роста спроса на твердое топливо. Потребление коксующих углей в металлургии останется стабильным на протяжении всего рассматриваемого периода ввиду постоянного технологического совершенствования металлургического производства в части сокращения удельного расхода кокса, применения пылеугольного вдувания и расширения применения производства стали с использованием лома черных металлов.

Растущим сектором потребления твердого топлива может стать глубокая переработка угля - углехимия. В период до 2025 г. предполагается осуществить несколько пилотных проектов в этой отрасли на базе канско-ачинских и кузнецких углей.

Потребление угля на нужды населения будет в основном определяться темпами газификации различных регионов России. В целом по стране потребление

угля для обеспечения населения будет снижаться максимальными темпами в следствии высокой эффективности замещения твердого топлива газом в этом секторе.

С учетом отмеченных тенденций суммарный внутренний спрос на твердое топливо снизится за 2017-2025 гг. на 10% до 150 млн. т.

По данным ведущих институтов и агентств **внешний спрос** на уголь в рассматриваемой перспективе будет расти умеренными темпами. Спрос на уголь на европейском рынке будет снижаться, а на азиатском расти. Причем драйвером роста будет не Китай, а Индия и страны юго-восточной Азии [14],[15].

С учетом динамики развития международной торговли углем и поддержания конкурентоспособности экспорта твердого топлива за счет дальнейшего ослабления курса рубля к доллару США, можно прогнозировать продолжение тенденции роста российского угольного экспорта. При этом атлантическое направление российского угольного экспорта будет подвержено большему влиянию возможных рисков и потребует более гибкой ценовой политики к основным потребителям для сохранения существующей ниши на этом рынке. Основной прирост потребности в российском угле на внешние рынки обеспечит рынок АТР. В целом внешний спрос на российские угли может возрасти за 2017-2025 годы на 26%.

В соответствии с приведенными оценками внутреннего и внешнего спроса, **добыча угля** в стране может возрасти к 2025 году на 9% до 450 млн.т. Основной объем добычи угля предусматривается в базовых бассейнах - Кузнецком и Канско-Ачинском, значительное развитие получит добыча угля на новых месторождениях Восточной Сибири и Дальнего Востока (Ургальское, Эльгинское, Апсатское, Огоджинское). Весь прирост намечаемой добычи угля обеспечит его экспорт (240 млн. т в 2025 году). При этом доля АТР в экспорте угля возрастет к концу периода до 60%.

7.3 Финансовый баланс

Финансовый баланс угольной промышленности в рассматриваемом периоде будет профицитным (рис.3).

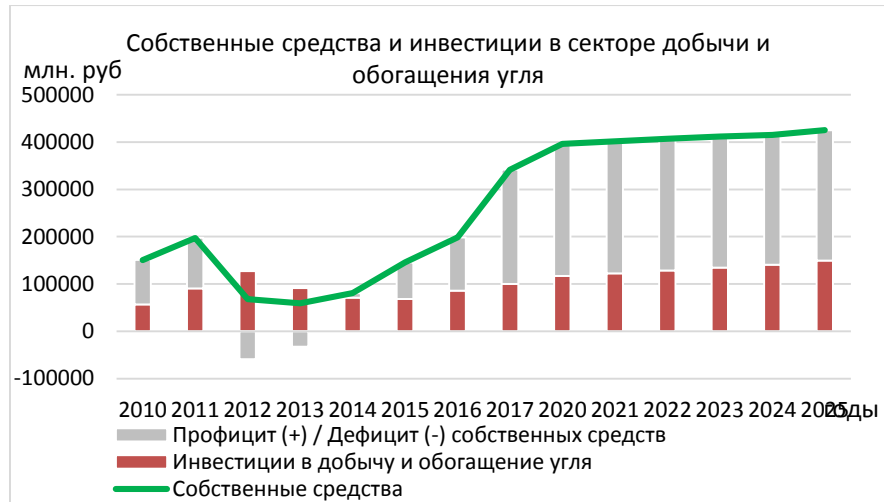


Рис. 3. Перспективный финансовый баланс угля. Источник: расчеты автора

Что касается выручки от реализации угля, то 84% ее прироста в 2017-2025 годах обеспечит внешний рынок. При этом его доля возрастет с 71% в 2017 году до 75% в 2025 году. Издержки по добыче и обогащению угля увеличатся в рассматриваемом периоде на 41%, затраты на железнодорожный транспорт - на 58%, а валовая и чистая прибыль всего на 21% и 20% соответственно.

Собственные средства предприятий угольной промышленности (амортизация и чистая прибыль) возрастет за 2017-2025 годы на 25% и обеспечит в полном объеме необходимые отрасли капитальные вложения. Профицит собственных средств в рассматриваемом периоде будет стабильным.

8 Проблемы отрасли и пути их решения

Проведенный анализ функционирования угольной промышленности в двухтысячные годы показал, что перед отраслью стоит ряд серьезных вызовов, ограничивающих ее перспективное развитие. Первая группа проблем связана со стагнацией внутреннего рынка угля. Как было показано выше, главная проблема в этой сфере - отсутствие механизмов межтопливной конкуренции между углем и газом. Принятое Правительством Российской Федерации решение о сдерживании внутренних цен на газ в ближайшие годы, делает актуальным поиск альтернативных мер, которые бы стимулировали межтопливную конкуренцию. Первая мера-это снижение издержек по всей цепочке от добычи угля до его потребления. Что касается снижения издержек и цен на продукцию отрасли, то оно должно быть обеспечено за счет развития конкуренции и повышения прозрачности торговли углем. При этом предлагается:

-развитие биржевой торговли углем и формирование индексов цен на него по сделкам, регистрируемым на Санкт-Петербургской товарно-сырьевой бирже. Хотя за углем закреплён статус биржевого товара, сделок с ним с 2010 года не проводилось. Для активизации этого процесса необходима стандартизация углей по маркам и сортам, что потребует разработки нескольких эталонных спецификаций. При этом цены на остальные марки и сорта углей рассчитывались бы как премии или дисконты к эталонным.

-переход от применяемых сегодня краткосрочных контрактов (сроком до одного года) на долгосрочные для внутренних потребителей угля, предусматривающих применение формулы перспективной цены на твердое топливо; сохранение при этом практики регистрации всех внебиржевых контрактов (для предприятий с добычей более 1 млн. т угля в год).

-мониторинг биржевых и контрактных цен на уголь и разработка на их основе ценового индикатора, который бы позволял антимонопольным органам препятствовать картельным сговорам крупных поставщиков на региональных угольных рынках, а в случае необходимости наказывать их.

-сдерживание тарифов на перевозку угля внутри России (рост не выше инфляции), что также будет способствовать повышению конкуренции угля с газом.

Вторая группа проблем связана с повышением качества угольной продукции. Доведение качества твердого топлива до мирового уровня и создание на его основе продуктов с высокой добавленной стоимостью будет стимулировать рост внутреннего потребления угля с одной стороны, и снизит транспортную составляющую в конечной цене угля, с другой. Внедрение технологий комплексной переработки позволит извлекать наибольшее количество полезных компонентов из угольной массы, обеспечивая максимальную добавочную стоимость. Промышленная реализация прогрессивных технологий, направленных на улучшение качественных параметров угольной продукции, создание товаров из углей с новыми потребительскими свойствами, утилизация отходов позволят расширить сферу их использования и привести к созданию новых рынков. Расширение направлений использования угля и продуктов его переработки, использование не только энергетического потенциала ископаемых углей, но и их пригодности для получения продуктов углехимии, углеродных и композитных материалов является насущной задачей настоящего времени (табл.19).

Таблица 19. Продукция и основные потребители комплексной переработки углей и утилизации отходов угольного производства.

Технологии	Продукция	Потребители продукции
1. Адаптивные технологии - повышение качества угольной продукции		
Обогащение	Концентрат	КХ заводы
Термобрикетиrowание	Окусованное топливо	КБХ, население
Термическое обогащение	Мелкозернистое топливо	Электростанции
2. Диверсификационные технологии - производства продукции с новыми потребительскими свойствами		
Коксование	Кокс, газ, смола	Черная металлургия

Технологии	Продукция	Потребители продукции
Гидрогенизация	Жидкое топливо	Все виды транспорта
Газификация	Газообразное топливо	Электростанции
3. Трансформирующие технологии - производства продукции нетопливного назначения, утилизация отходов		
Производство горного воска	Горный воск	Отрасли промышленности (химическая, автомобильная, оборонная, авиационная)
Производство гуминовых удобрений	Гуматы	Сельское хозяйство
Производство адсорбентов	Адсорбенты	Отрасли промышленности (медицинская, пищевая), электростанции
Производство глинозема	Глинозем	Алюминиевая промышленность
Производство кирпича	Кирпич	Строительная промышленность
Производство аглопорита	Аглопорит	Строительная промышленность

Источник: [16].

Поэтому намечается формирование самостоятельных или взаимосвязанных производств на базе технологий комплексного использования ресурсов угольных месторождений предполагающее:

-расширение существующих и формирование новых кластеров по энерготехнологическому использованию угля в регионах страны, включающих шахты (разрезы), обогатительные фабрики, комплексы по производству полукокса и электростанции, работающие на угле или извлеченном из угольных пластов метане и горючем газе от производства полукокса (Караканский, Менчерепский и Серафимовский комплексы);

- завершение формирования угольного комплекса на Эльгинском месторождении;
- осуществление пилотных проектов по производству из угля синтетического жидкого топлива.

Кроме того намечается создание производств с использованием технологий термической переработки низкосортных углей, технологий и оборудования для безотходной переработки и использования угля.

Следующая группа проблем связана с сохранением позиций отрасли и диверсификацией поставок на внешние рынки угля. Главное в этой сфере - синхронизация мероприятий по развитию логистики (железнодорожной и портовой инфраструктуры) для обеспечения устойчивого экспорта угля. При этом необходимо создание условий для опережающего роста объемов экспорта угля на рынок АТР, где прогнозируется более высокие темпы роста потребления угля. Для этого

необходимо прежде всего обеспечить расширение БАМА, увеличить пропускную способность участка Комсомольск-на-Амуре - Советская Гавань, завершить создание железнодорожной инфраструктуры к Эльгинскому месторождению. Параллельно необходимо построить и расширить ряд угольных терминалов на Тихоокеанском побережье России (Посьет, Восточный, Ванино, Шахтерск и др.).

Еще одна важная мера в этой сфере – это увеличение в экспорте продуктов переработки угля, что обеспечит повышение его эффективности.

Литература

1. Яновский А.Б. Основные тенденции и перспективы развития угольной промышленности России. Журнал Уголь, 2017 год, №8, стр. 10-14.
2. Плаkitкина Л.С., Плаkitкин Ю.А. Угольная промышленность мира и России: анализ, тенденции и перспективы развития. Издательство Литтерра, 2017 год.
3. Краснянский Г.Л., Зейденварг В.Е., Ковальчук А.Б., Скрыль А.И. Уголь в экономике России. Издательство Экономика, 2010 год.
4. Таразанов И.Г. Итоги работы угольной промышленности России за январь-декабрь 2015 года. Журнал Уголь, 2016 год, №3, стр.58-72.
5. Coal Information: Overview 2018 // OECD/IEA.
6. Российский статистический ежегодник. Росстат, 2000-2018 гг.
7. Журнал Уголь. 2018 г., №3.
8. BP Energy Outlook 2018 edition // BP, 2018.
9. Росстат. Форма 1-Предприятие, 2000-2018 гг.
10. Росстат. Приложение П-2, 2000-2018 гг.
11. Аргус. Топливо и энергетика. Выпуск 9. №40.
12. УГМК. Обзоры основных рынков. Уголь, 2019 г.
13. ИНП РАН. Отчет о НИР. Анализ развития рынка угля в АТР и разработка предложений по развитию сотрудничества со странами АТР. М., 2012 г.
14. Макаров А.А., Григорьев Л.М., Митрова Т.А., Прогноз развития энергетики мира и России 2016 // ИНЭИ РАН–АЦ при Правительстве РФ. М., 2016.
15. Exxon Mobil 2018 Outlook for Energy: A View to 2040.
16. Кузьмина Т.И. Экономическая оценка инновационных технологий производства новых видов угольного топлива и эффективность его использования в энергетических установках. М. МГОУ. 2011.

Reference

1. Yanovsky A.B. The main trends and prospects for the development of the coal industry in Russia. Coal Magazine, 2017, No. 8, pp. 10-14.
2. Plakitkina L.S., Plakitkin Yu.A. Coal industry of the world and Russia: analysis, trends and development prospects. Litterra Publishing, 2017.
3. Krasnyansky G.L., Zeidenvarg V.E., Kovalchuk A.B., Skryl A.I. Coal in the Russian economy. Publishing House Economics, 2010.
4. Tarazanov I.G. The results of the coal industry in Russia in January-December 2015. Coal Magazine, 2016, No. 3, pp. 58-72.
5. Coal Information: Overview 2018 // OECD / IEA.

6. Russian statistical yearbook. Rosstat, 2000-2018
7. Coal Magazine. 2018, No. 3.
8. BP Energy Outlook 2018 edition // BP, 2018.
9. Rosstat. Form 1-Enterprise, 2000-2018
10. Rosstat. Appendix P-2, 2000-2018
11. Argus. Fuel and energy. Issue 9. No. 40.
12. UMMC. Surveys of the main markets. Coal, 2019.13
13. INP RAS. Research report. Analysis of the development of the coal market in the Asia-Pacific region and development of proposals for the development of cooperation with the Asia-Pacific countries M., 2012.14
14. Makarov A.A., Grigoryev L.M., Mitrova T.A., Forecast of the development of energy in the world and Russia 2016 // INEI RAS – AC under the Government of the Russian Federation. M., 2016.15
15. Exxon Mobil 2018 Outlook for Energy: A View to 2040.16
16. Kuzmina T.I. Economic evaluation of innovative technologies for the production of new types of coal fuel and the effectiveness of its use in power plants. M. MGOU. 2011.

The coal industry in Russia: challenges and current development trends

V.V. Saenko

Institute of Economic Forecasting of the Russian Academy of Sciences (IEF RAS), Moscow,
117418, Russia

E-mail: vv_saenko@mail.ru

Abstract. A detailed assessment of internal and external demand for Russian coal is given. The analysis of situation in coal industry of the country is carried out. The logistics role in efficiency of supply of solid fuel is shown. The forecast of Russian coal industry till 2025 is given. Solutions of problems of the industry are offered.

Keywords: coal industry, analysis, forecasting, logistics, efficiency of supply, main problems.

УДК 911.3.3

Структура мирового рынка лития, как основного элемента в аккумуляторах энергии

О.А. Синюгин¹ [0000-0001-5874-4342], М.Ю. Березкин² [0000-0002-6945-2131],
К.С. Дегтярев³ [0000-0002-1738-6320]

Географический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: ¹ olegsinyugin@yahoo.com, ² mberezkin@inbox.ru,
³ kir1111@rambler.ru

Аннотация. В статье обсуждается текущий тренд доминирования Китая на мировом рынке лития. Для описания структуры рынка собраны данные и прогнозы производства лития. Указывается, что картельные соглашения ведут к росту цен на рынке лития, а автомобилестроение становится ведущим драйвером рынка литиевых аккумуляторов. Это является определяющими факторами рынка лития на обозримое будущее.

Ключевые слова: литий, Китай, аккумуляция энергии

1 Введение

Электрогенерация на возобновляемых источниках энергии (ВИЭ) занимает все большую долю рынка. При этом и тепловым, и атомным электростанциям приходится выполнять резервную функцию, поскольку выработка ВИЭ-генерации непостоянна. Аккумуляторы электроэнергии могут стать выходом для продолжения успешной интеграции ВИЭ в энергосистемы различных стран, они позволят сгладить колебания выработки ВИЭ и выровнять график нагрузки [1].

Другим трендом является развитие распределенной энергетики. Потребители хотят минимизировать свои затраты и устанавливают собственные генерирующие источники (например, солнечные батареи или ветрогенераторы). В странах, где доля распределенной генерации высока, возникает проблема интеграции таких потребителей в рыночную систему. Поскольку сам потребитель забирает от своего источника столько электроэнергии, сколько ему нужно в данный момент времени, у него могут возникать излишки. Проблема продажи этих излишков в сеть может быть решена с помощью аккумуляторов.

Хранение электроэнергии названо Международным Энергетическим Агентством (МЭА), [2], одной из 12 прорывных технологий, которые существенным образом изменят глобальную экономику. По оценкам, совокупный среднегодовой темп роста рынка аккумуляторных батарей всех типов составит за ближайшие десять лет 18,7%: с \$637 млн в 2014 году до \$3,96 млрд в 2025 году. Для аккумуляторных батарей текущие оценки затрат на их установку варьируются от \$200 до \$800 за 1 кВт*ч установленной мощности. Мощность электрических накопителей в странах ЕС, США и Китае, по различным сценариям МЭА, к 2050 году возрастет от двух до восьми раз.

2 Литий-ионные аккумуляторы

Еще в прошлом десятилетии литий-ионные аккумуляторы использовались в малом масштабе в видеокамерах, портативных компьютерах и мобильных телефонах. С внедрением электрических автомобилей, начиная с 2016 г., основную долю спроса (более 50%) на такие аккумуляторы предъявляют автопроизводители. В мире в 2017 г. было продано около 1,1 миллиона электро-автомобилей – 1,2% от всех проданных машин.

Динамика рынка аккумуляторов энергии будет определяться распространением электрических автомобилей. Уже сейчас основной спрос на литий-ионные батареи генерируется автопроизводителями, их производство растет, и в результате экономии масштаба, цены на аккумуляторные батареи падают. Так, за 2017 г. снижение цен составило 24% (BNEF, [3]). Снижающиеся цены способствуют расширению применения литий-ионной технологии – в электрических сетях, зданиях, морских судах и самолетах.

Соединения лития добываются двумя способами: испарение рассолов соленых озер (как в Чилийских и Аргентинских Андах) и шахтной разработкой руд (как месторождение Гринбуш в Австралии). Наиболее богатые и дешевые месторождения – это соленые озера, но получение лития из руды дает основной объем увеличения добычи. Торговый продукт имеет вид гидроксида лития или карбоната лития, которые технологически удобны в дальнейшем производстве. Цены устанавливаются в эквиваленте карбоната лития.

Первая пятерка стран по производственным мощностям литий-ионных батарей представлена в Таблице 1.

Таблица 1. Производственные мощности литий-ионных батарей (существующие и предназначенные к вводу в строй до 2020 г.), [Гигаватт·час в год, ГВт·ч/г].

Страна	Китай	США	Южная Корея	Япония	Польша
Мощность [ГВт·ч/год]	217,2	46,9	23,1	14,0	5,0

Источник: BNEF, 1018

Российские мощности по производству литий-ионных батарей составляют около 1 ГВт·ч в год (0,3 % мирового рынка).

3 Мировой рынок лития

В области производства лития образовался картель (олигополия) – небольшая группа производителей, контролирующая рынок. Классическим примером картельного сговора является ситуация нефтяного шока 1973-74 гг. вызванная действиями организации стран экспортеров нефти ОПЕК (в основном с Ближнего Востока).

Первая пятерка производителей карбоната лития выглядит следующим образом: 1) Албемарле (Albemarle), Северная Каролина, США – 18% мирового производства, 2) ЦзяньсиГанфень Литий (JiangxiGanfengLithium), Китай – 17%, 3) SQM, Чили – 14%, 4) Тяньчи (Tianqi), Китай – 12%, 5) FMC, Китай – 5%. На остальных участников рынка приходится только 34% от общего предложения.

Главные участники картеля также связаны между собой – в Австралии месторождение Гринбуш разрабатывается совместно компаниями Албермарле и Тяньчи дает 35% мирового производства карбоната лития, другой участок Албермарле на соленых озерах около пустыни Атакама в Чили расположен вплотную к добычному участку компании SQM. Общая динамика мирового производства представлена в Таблице 2.

Таблица 2. Динамика мирового производства лития [тонн/год].

Год	2012	2015	2016	2017	2018	2020 оценка
Производство карбоната лития, тонн/год	105 000	145 000	183 000	228 000	329 000	493 000

Источник: BNEF, 2018

Быстрый рост производства лития сопровождался быстрым ростом цен (Таблица 3) – что является признаком действия олигополии на рынке.

Таблица 3. Динамика цен на карбонат лития [долл.США/тонна].

Год	2012	2015	2016	2017	2018
Цена карбоната лития, долл.США/тонна	4 300	4 700	5 800	10 000	16 000

Источник: BNEF, 2018

В настоящее время лидирующая пятерка производителей планирует ввод дополнительных мощностей – 245000 тонн карбоната лития в год к 2022 г. – рост в 2 раза по сравнению с существующими мощностями в 2017 г. Это означает усиление контроля над рынком.

Китай стремится стать мировым центром производства электрических автомобилей. Три крупнейшие компании из первой пятерки – китайские. Несмотря на то, что они принадлежат частному капиталу, значительно влияние китайских планирующих и регулирующих органов, рассматривающих производство лития как стратегически важную отрасль. Такой подход был уже отработан в 2000-х годах в области редкоземельных металлов. Фактически Китай движется к мировому доминированию на рынке лития. В частности, согласно национальному плану в 2025 г. по дорогам Китая будет ездить 7 миллионов электроавтомобилей. Китайский рынок электроавтомобилей к 2025 г. будет составлять более 50% от мирового.

4 Выводы

1. Хранение электроэнергии названо Международным Энергетическим Агентством (МЭА), одной из 12 прорывных технологий, которые существенным образом изменят глобальную экономику
2. Аккумуляторы электроэнергии могут стать выходом для продолжения успешной интеграции ВИЭ в энергосистемы различных стран, они позволят сгладить колебания выработки ВИЭ и выровнять график нагрузки
3. С внедрением электрических автомобилей, начиная с 2016 г., основную долю спроса (более 50%) на литий-ионные аккумуляторы предъявляют автопроизводители
4. Динамика рынка аккумуляторов энергии будет определяться распространением электрических автомобилей
5. Снижающиеся цены способствуют расширению применения литий-ионной технологии – в электрических сетях, зданиях, морских судах и самолетах.
6. Российские мощности по производству литий-ионных батарей составляют около 1 ГВт·ч в год (0,3% мирового рынка).
7. В области производства лития образовался картель (олигополия) – небольшая группа производителей, контролирующая рынок.
8. Китай движется к мировому доминированию на рынке лития.

Литература

1. Берёзкин М.Ю., Синюгин О.А., Соловьев А.А. География инноваций в сфере традиционной и возобновляемой энергетик мира. Вестник Московского университета. Серия 5. География, № 1, 2013. с. 28-32.
2. World Energy Outlook 2018. International Energy Agency. 2018. Paris. 312 p.
3. Bloomberg New Energy Finance 2018. BNEF. NY. [электронный ресурс] URL: www.bloomberg.com/bnef (дата обращения - 16.12.2018 г.)

Reference

1. Beryozkin M.YU., Sinyugin O.A., Solov'ev A.A. Geografiya innovacij v sfere tradicionnoj i vozobnovlyaemoj ehnergetik mira. Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5. Geografiya, № 1, 2013. p. 28-32.
2. World Energy Outlook 2018. International Energy Agency. 2018. Paris. 312 p.
3. Bloomberg New Energy Finance 2018. BNEF. NY. [internet resource] URL: www.bloomberg.com/bnef (reference date - 16.12.2018 g.)

The structure of the global lithium market as the main element in energy storage

O.A. Sinyugin ¹, M.Yu. Berezkin ², K.S. Degtyarev ³

Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Moscow, Russia

E-mail: ¹ olegsinyugin@yahoo.com, ² mberezkin@inbox.ru,
³ kir1111@rambler.ru

Abstract. The paper discusses recently emerged trend of Chinese domination in the global lithium market. In order to determine the market structure, we have aggregated lithium production data and setup the corporate outlook. Establishing cartel arrangement drives lithium prices up. Transport became the leading driver in lithium market development. It is a determinant for lithium applications in foreseeable future.

Keywords: Lithium, China, energy accumulation