

РГАСНТИ 44.09.29

ISSN 2409-5516

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ПОЛИТИКА

ОБЩЕСТВЕННО-ДЕЛОВОЙ
НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

№11(165), ноябрь 2021



Тема номера

**ЭНЕРГОПЕРЕХОД: ОТ НАЦИОНАЛЬНОЙ ЦЕЛИ
ДО ОБЩЕЧЕЛОВЕЧЕСКИХ ВОПРОСОВ**



ОНЛАЙН-УЧАСТИЕ
БЕСПЛАТНОЕ



ДО ВСТРЕЧИ НА ГЛАВНОМ
БИРЖЕВОМ МЕРОПРИЯТИИ
ДЛЯ ТОВАРНЫХ РЫНКОВ!

БИРЖЕВОЙ ТОВАРНЫЙ РЫНОК'21

VI Ежегодный международный
форум СПбМТСБ

В этом году форум пройдет в 3 этапа:

23 ноября **1 СЕССИЯ ПО РЫНКУ**
Краснодар **МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ**

В рамках 28-й Международной сельскохозяйственной
выставки «ЮГАГРО».

30 ноября **2 СЕССИИ ПО РЫНКАМ**
Москва **НЕФТЕПРОДУКТОВ,**
ЛЕСА И СРОЧНОМУ РЫНКУ
Формат онлайн

17 декабря **3 СЕССИЯ ПО БИРЖЕВОМУ**
Москва **РЫНКУ ГАЗА**

В рамках 19-го Международного форума «Газ России 2021».

Спикерами форума традиционно станут руководители ключевых
министерств и ведомств: Минэнерго, Минприроды и ФАС России,
Банка России, Федерального Собрания РФ, региональных органов власти,
российских и иностранных компаний-участников торгов.

Будем обсуждать итоги и перспективы развития биржевых рынков
нефти и нефтепродуктов, природного газа, лесоматериалов, минеральных
удобрений и срочного рынка. Вручим отраслевые награды лидерам
биржевого товарного рынка за вклад в развитие организованных торгов.

- зарегистрироваться на онлайн-трансляцию всех трех этапов,
- узнать про офлайн-посещение отдельных сессий –
на сайте Форума
«Биржевой товарный рынок-2021»

forum.spimex.com



t.me/spimexofficial



facebook.com/SPIMEX



vk.com/spimex

Официальные партнеры



ЮГАГРО

a Hyve event



19-й Международный Форум
ГАЗ РОССИИ 2021
Российское Газовое Общество



РОССЕТИ

«Россети» –
вместе
в будущее

Содержание

5 Слово редакторов

Энергопереход

- 6 А. Громов. Пандемия COVID-19: «черный лебедь» или «знамение свыше»?
- 16 В. Зайченко, А. Чернявский, А. Шевченко. Возможности биоэнергоперехода в России
- 30 Ф. Веселов, А. Соляник, Л. Урванцева. Низкоуглеродная перестройка электроэнергетики России до 2035 года: потенциал снижения эмиссии CO₂ и его «цена» для потребителя

Климат

- 44 В. Бушуев, Д. Соловьев. Климат и энергопереход: взаимодействие и взаимозависимость

Энергетика

- 56 О. Туркина, И. Волтов, Д. Иванов, М. Щербаков. Информационная система расчета вероятностной модели незаконного энергопотребления

Регионы

- 66 Б. Бат-Эрдэнэ, Н. Воропай, С. Лянхцэцэг, С. Батмунх. Планирование развития электроэнергетической системы Монголии

Нефть

- 82 С. Трофимов. Задачи укрепления углеводородного потенциала Арктики
- 96 А. Брехунцов, А. Муллин, Ю. Петров, Г. Проскурин. Арктика 2050: доктринальные перспективы развития



Contents

5 Editor's Column

Energy transition

- 6 A. Gromov. COVID-19: «black swan» or «sign from above»?
- 16 V. Zaichenko, A. Chernyavsky, A. Shevchenko. Opportunities of bioenergy transfer in Russia
- 30 F. Veselov, A. Solyanik, L. Urvantseva. Low-carbon transition of the Russian power industry until 2035: potential of emission reduction and its «cost» for consumers

Climate

- 44 V. Bushuev, D. Solovyev. Climate and energy transition: interaction and interdependence

Energy

- 56 O. Turkina, I. Voltov, D. Ivanov, D. Shcherbakov. Information system for calculating the probabilistic model of illegal energy consumption

Regions

- 66 B. Bat-Erdene, N. Voropai, S. Lyankhtsetseg, S. Batmunkh. Planning for the development of Mongolia's electric power system

Oil

- 82 S. Trofimov. Tasks of strengthening the hydrocarbon potential of the Arctic
- 96 A. Brekhuntsov, A. Mullin, Y. Petrov, G. Proskurin. Arctic 2050: Doctrinal development prospects

УЧРЕДИТЕЛИ

Министерство энергетики Российской Федерации, 107996, ГСП-6, г. Москва, ул. Щепкина, д. 42

ФГБУ «Российское энергетическое агентство» Министерства энергетики Российской Федерации, 129085, г. Москва, проспект Мира, д. 105, стр. 1

ИЗДАТЕЛЬ

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Российское энергетическое агентство» Министерства энергетики Российской Федерации, 129085, г. Москва, проспект Мира, д. 105, стр. 1

НАУЧНО-РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

В.В. Бушуев – акад. РАЕН и РИЗ, д. т. н., председатель совета, ген. директор ИЭС
А.М. Мастепанов – акад. РАЕН, д. э. н., руководитель Центра энергетической политики ИПНГ РАН
Д.А. Соловьев – к. ф.-м. н., ответственный секретарь совета
А.Н. Дмитриевский – акад. РАН, д. г.-м. н., научный руководитель ИПНГ РАН
Н.И. Воропай – член-корр. РАН, д. т. н., научный руководитель ИСЭМ СО РАН
А.И. Кулапин – д. х. н., ген. директор РЭА Минэнерго России

В.А. Крюков – акад. РАН, д. э. н., директор ИЭОПП СО РАН
Е.А. Телегина – член-корр. РАН, д. э. н., декан факультета РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина
А.И. Громов – к. г. н., директор по энергетическому направлению ФИЭФ
С.П. Филиппов – акад. РАН, д. э. н., директор ИНЭИ РАН
А.Б. Яновский – д. э. н., к. т. н.
П.Ю. Сорокин – заместитель министра энергетики России
О.В. Жданев – к. ф.-м. н., руководитель дирекции технологий ТЭК ФГБУ «РЭА»

Главный редактор
Анна Горшкова

Научный редактор
Виталий Бушуев

Обозреватель
Арсений Погосян

Корректор
Роман Павловский

Фотограф
Иван Федоренко

Дизайн и верстка
Роман Павловский

Адрес редакции:
129085, г. Москва, проспект Мира, д. 105, стр. 1
+79104635357
anna.gorshik@yandex.ru

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций

Свидетельство о регистрации средства массовой информации ПИ № 77–75080 от 07.03.2019

Журнал «Энергетическая политика» входит в Перечень рецензируемых научных изданий ВАК

При перепечатке ссылка на издание обязательна

Перепечатка материалов и использование их в любой форме, в том числе в электронных СМИ, возможны только с письменного разрешения редакции

Редакция не несет ответственности за содержание рекламных материалов

Редакция не имеет возможности вступать в переписку, рецензировать и возвращать не заказанные ею рукописи и иллюстрации

Тираж 1000 экземпляров

Периодичность выхода 12 раз в год

Цена свободная

Отпечатано в «ПБ «Модуль», 115162, Москва, Мытная улица, дом 48, цоколь пом. 2, ком. 1,3

Подписано в печать: 05.11.2021

Время подписания в печать по графику: 13:00 фактическое: 13:00

16+



Виталий БУШУЕВ
Научный редактор журнала
«Энергетическая политика», акад. РАЕН и РИЭ, д. т. н.



Анна ГОРШКОВА
Главный редактор журнала
«Энергетическая политика»

Трансформация разного масштаба

Энергетический переход становится необратимым процессом. Он проявляется уже на всех уровнях социально-экономической жизни страны и приводит к перестройке как энергетического комплекса стран в целом, так и взглядов и мышления отдельного человека. В ноябрьском номере журнала «Энергетическая политика» мы попробовали проанализировать эти разноплановые тенденции.

Так, на примере Монголии было проанализировано влияние энергоперехода на топливно-энергетический комплекс развивающейся страны, перед которой стоит задача адаптировать свою экономику в том числе под мировую климатическую

повестку. Новые подходы к энергетике меняют и организацию работы отраслей на региональном уровне, меняя подходы к государственному управлению этих территорий, что особенно заметно на примере Российской Арктики.

Но наиболее глубоко изменения могут коснуться простых потребителей энергоресурсов. В ноябрьском номере мы попробовали посмотреть, какую цену им придется заплатить за переход на «зеленые» технологии. При этом отдельной задачей будут стоять возможности, которые предоставляют современные технологии, для управления и организации безопасной работы локальных энергосистем.

Пандемия COVID-19: «черный лебедь» или «знамение свыше»? COVID-19: «black swan» or «sign from above»?

Алексей ГРОМОВ

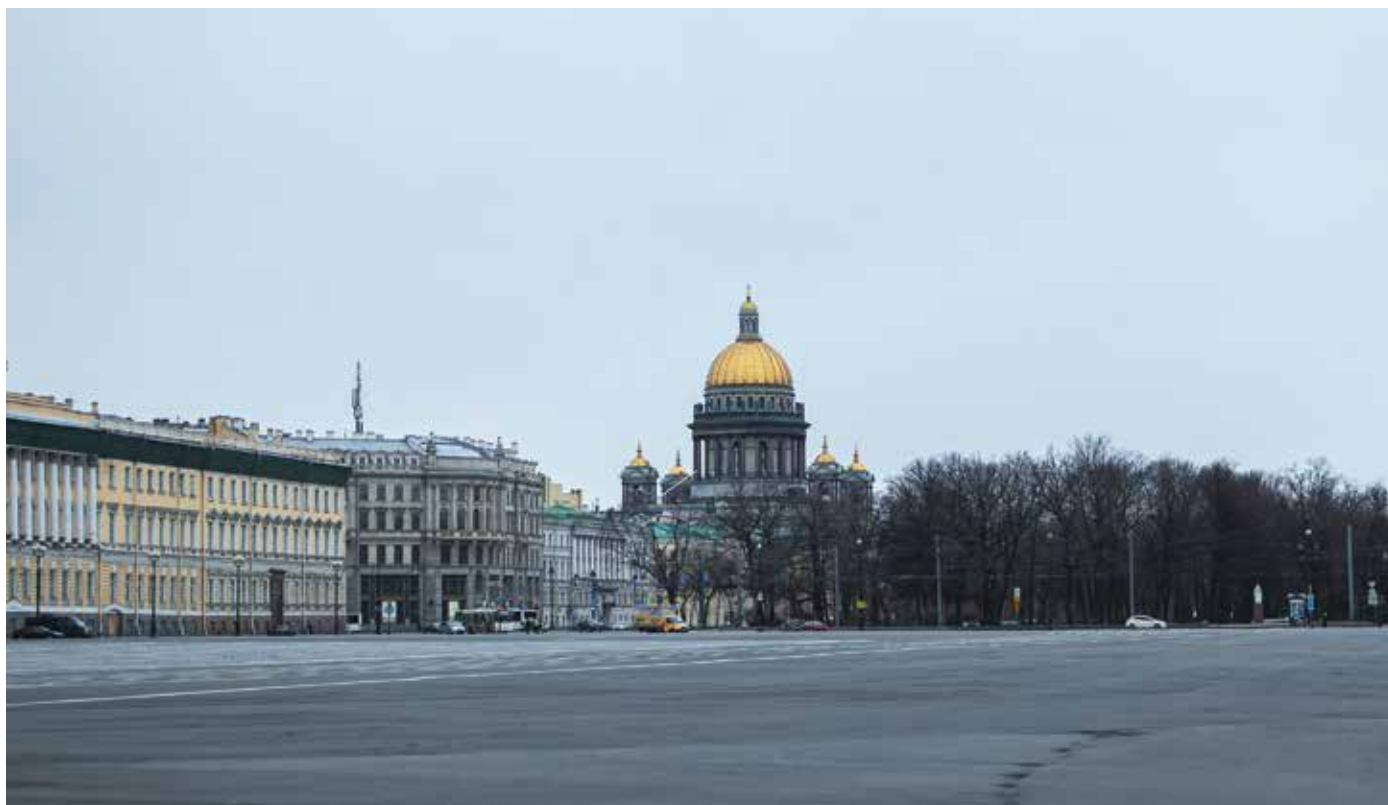
Главный директор по энергетическому направлению, руководитель Энергетического департамента фонда «Институт энергетики и финансов», к. г. н.
e-mail: a_gromov@fief.ru

Alexey GROMOV

PhD in Economic Geography,
Principal director on Energy Studies,
Head of Energy Department,
Institute for Energy and Finance
e-mail: a_gromov@fief.ru

Санкт-Петербург в период самоизоляции из-за COVID-19

Источник: art2435 / Depositphotos.com



Аннотация. В статье проводится анализ влияния пандемии COVID-19 на процессы глубокой социокультурной, энергоинформационной и цивилизационной трансформации общества и человека.

Ключевые слова: пандемия COVID-19, цивилизация, энергоинформационное общество, многомерная реальность, информация, искусственный интеллект, цифровые экосистемы.

Abstract. The article analyzes the impact of the COVID-19 pandemic on the processes of deep socio-cultural, energy-informational, and civilizational transformation of society and man.

Keywords: COVID-19 pandemic, civilization, energy information society, multidimensional reality, information, artificial intelligence, digital ecosystems.

//

Пандемия ускорила переход общества на новый этап развития, основанный на ускорении процессов энергоинформационной трансформации

Вспышка пандемии COVID-19, поразившая мир в 2020–2021 гг., оказала серьезное влияние на все сферы социально-экономической жизни общества, не только спровоцировав сильнейший мировой социально-экономический и энергетический кризис со времен окончания Второй мировой войны, но и став своего рода триггером ускорения процессов глубокой социокультурной, энергоинформационной и даже цивилизационной трансформации общества и человека.

В большинстве современных публикаций и исследований на тему пандемии огромное внимание уделяется анализу и оценке ее экономических и социальных последствий в их традиционном понимании (сокращение бизнес-активности из-за периодически повторяющихся локдаунов ряда ведущих экономик мира, рост безработицы, беспрецедентный кризис на мировых рынках углеводородов и пр.). При этом многие из нас сознательно или подсознательно



В период пандемии люди столкнулись с необходимостью социальной изоляции

Источник: marcink3333 / Depositphotos.com

все еще оценивают пандемию как временный «провал» социально-экономического развития нашей экономики и общества, который будет скоро преодолен, и мир вернется к допандемийной парадигме своего эволюционного развития.

Однако весьма вероятно, что пандемия COVID-19 ускорила переход нашего общества и мирохозяйственной системы в целом на новый этап цивилизационного развития, основанный на ускорении процессов энергоинформационной трансформации всего привычного нам уклада жизни во всем его многообразии.

Представляется, что пандемия стала не столько «черным лебедем», который сломал привычный уклад жизни людей, но и своего рода «знамением свыше», не только встряхнувшим человечество,



Команда профессиональных киберспортсменов

Источник: Gorodenkoff / Depositphotos.com

но и показавшим всему миру востребованность иного пути цивилизационного развития, основанного не на экономической доминанте и товарно-денежных отношениях во всем и вся, а на принципах социогуманизма, когда на первый план выходит человек, его здоровье и гармония с окружающим миром.

Безусловно, социогуманистические тенденции получили свое развитие гораздо раньше глобальной пандемии, но именно она показала степень их значимости для современного мира, грубо нарушив привычную людям экономическую гонку за прибылью и, посадив их, пусть на время, но по домам, дала возможность почти каждому человеку осознать свое место в современной жизни, свои человеческие приоритеты и привязанности, которые

оказались гораздо богаче и глубже, чем обыденная экономическая мотивация общества потребления.

Пандемия также резко ускорила масштабное внедрение целого ряда новых цифровых, энергетических, телекоммуникационных, бионических и даже космических технологий, развитие которых сегодня значительно опережает процессы осознания человеком тех изменений, которые они уже привнесли в привычный всем нам уклад жизни.

А без осознания происходящих изменений и поиска оптимальных путей адаптации человека к ним, мы не сможем построить полноценную и гармоничную энергоинформационную или даже космопланетарную цивилизацию, в которой человек будет чувствовать себя уверенно и комфортно.

Человек и многомерная реальность

Так, развитие информационных и телекоммуникационных технологий привело к многомерности пространства или реальности, в которой живет современный человек. Если раньше повседневной реальностью было наше социальное окружение, взаимодействие с которым осуществлялось посредством физического общения, то сегодня технологии позволяют практически уйти от такого формата человеческого взаимодействия.

И пандемия COVID-19 наглядно это доказала, поскольку в условиях массового карантина экономики и самоизоляции людей в своих квартирах и домах, общение и решение бизнес-вопросов перешло в плоскость телеконференций и вебинаров, общения в соцсетях и электронной переписки.

Да, все это развивалось и раньше, но служило своего рода удобным дополнением к нашим привычным паттернам повседневного общения. Однако во время пандемии оказалось, что именно такой формат виртуального общения может стать основным.

Более того, оказалось, что вполне эффективны и форматы удаленной работы, дистанционного обучения, телемедицины, а также проведения международных саммитов самого высокого уровня с участием глав-государств в онлайн-формате.

В этой связи, представляется, что пандемия действительно оказала глубинное воздействие на нашу повседневность, по сути, ускорив формирование основ энергоинформационного общества, основанного на многомерности окружающей нас реальности, растущем и ускоряющемся информационном потоке, всепроникающем искусственном интеллекте и бионических технологиях.

Сегодня человек имеет возможность жить в нескольких реальностях одновременно. С одной стороны, это традиционное

Геймер

Источник: Vadymvdrobot / Depositphotos.com



Пандемия ускорила формирование энергоинформационного общества, основанного на растущем информационном потоке, всепроникающем искусственном интеллекте и бионических технологиях

социальное окружение «за окном». С другой – это реальность социальных сетей, которая позволяет человеку быть не таким, каким он есть на самом деле, а формировать свой социальный образ, который он хочет представить обществу. И, наконец, виртуальная реальность, которая позволяет человеку полностью уходить в воображаемые реальности, создавать их и даже жить в них, представляя себя драконом, эльфом или персонажем компьютерных игр.

При этом очень важно понимать, что, по мере развития соответствующих телекоммуникационных технологий и технологий дополненной реальности, многомерность окружающего нас мира будет лишь усиливаться, а объективное понимание безусловной доминанты реальности «за окном» будет снижаться в пользу различных виртуальных пространств, в той или иной степени интегрированных в нашу повседневность.

Можно даже предположить, что в перспективе человек сможет выбирать ту реальность, в которой он предпочитает вести социальную жизнь. А это может привести к появлению растущей категории так называемых виртуальных людей, которые могут потерять связь с окружающей объективной реальностью и выпасть из классических рамок человеческого общества, или сформировать новые поведенческие паттерны в его развитии.

Таким образом, одним из основных цивилизационных изменений, к которым нас подталкивает пандемия COVID-19, является нарастающая виртуализация человеческого общения и экономической деятельности, важным следствием которой служит увеличение многомерности и информатизации окружающей нас реальности и перевод

многих привычных нам сфер социально-экономической, политической и культурной жизни в цифровой формат.

При этом нарастающая многомерность окружающей нас среды и ее все большая виртуализация, стирающая границы между странами и людьми, приводят к серьезным общественным трансформациям, когда на первый план начинают выходить не традиционные объединительные связи реального общества, как правило, привязанные к окружающему нас пространству (семья, школа, университет, община, нация или народ), но глобальная общность интересов, мировоззрения, увлечений и хобби. Ярким примером такого рода связей являются т. н. глобальные флешмобы, которые служат одним из способов демонстрации мнений людей, объединенных общими принципами, идеями и увлечениями.

По сути, на наших глазах зарождается новая цифровая глобализация общества, которое посредством виртуального общения через соцсети становится по-другому структурированным. При этом общественная жизнь в условиях пандемии зачастую подчиняется новой виртуальной реальности и скорее дополняет ее, а не наоборот. Реальное общество становится все более атомизированным, однако индивиды, его составляющие, объединяются в новые движения и социальные группы в обществе виртуальном, которое стало почти для всех нас вынужденной реальностью в эпоху пандемии.

Реальное общество становится все более атомизированным, однако индивиды объединяются в новые движения и социальные группы в виртуальном обществе, ставшим вынужденной реальностью в пандемию

Человек и информация

В этом контексте все возрастающую значимость для человека приобретает информация и способы ее восприятия, поскольку многомерность окружающей нас



Фрилансер на удалённой работе
Источник: kasto / Depositphotos.com

реальности как раз и обеспечивается тем информационным потоком, который, благодаря новым технологиям с применением искусственного интеллекта, во все большей степени подстраивается под наши нужды и предпочтения.

Традиционно информация была для человека одним из важнейших источников знания, своего рода энергией его духовно-интеллектуального развития и получения конкурентных преимуществ. При этом долгое время главным для человека был поиск нужной информации, которая, как правило, уже носила структурированный характер, что помогало превращать ее в знание.

Развитие телекоммуникационных и интернет-технологий при практически полном отсутствии какого-либо фильтра или контроля над размещением информации в глобальной сети привело к тому, что информационные потоки резко возросли и стали общедоступными. Более того, сегодня каждый человек может выкладывать свою информацию в интернет. Однако при беспрецедентном росте информационного потока и его общедоступности резко снизилась степень структурированности получаемой информации, а также степень ее достоверности.

В результате, человек оказывается под постоянным воздействием нарастающего информационного потока или «шума»,

который он должен правильным образом структурировать внутри себя, чтобы информация превращалась в новое знание.

Другими словами, во взаимодействии человека и информации произошел переход от простого поиска информации к задаче ее правильной структуризации и объективизации в условиях постоянно нарастающего информационного «шума», появления фейковых новостей и технологий управления большими информационными массивами.

В этой связи возникает сразу несколько вопросов для дискуссии по данному направлению.

Как помочь человеку выстроить правильные ориентиры для структурирования постоянно растущего информационного потока с тем, чтобы в этом потоке не происходила подмена понятий, искажение объективной реальности, но при этом сохранялись все права на свободу слова и самовыражения?

Существуют ли биологические пределы человеческого мозга для восприятия и структурирования информационных потоков? И не получится ли, что дальнейшее развитие т. н. клипового мышления (восприятия информации как картинки или образа) как наиболее популярного способа обработки растущих и постоянно ускоряющихся информационных потоков снизит аналитические способности человека, поскольку он будет просто не успевать структурировать поступающую в его мозг информацию?

Системный администратор



Источник: nullplus / Depositphotos.com

Сегодня алгоритмы искусственного интеллекта заменили собой биржевых аналитиков, которые просто не имеют физической возможности конкурировать в скорости принятия решений по сделкам

Человек и искусственный интеллект

И тут мы сразу переходим к еще одному крайне непростому вопросу – дальнейшего сосуществования или соразвития человека и искусственного интеллекта.

Как уже говорилось выше, человек всегда стремился к структурированию получаемой информации и активно развивал соответствующие технологии ее обработки, обобщения и структуризации. Так появились компьютеры, а сегодня активно развиваются технологии цифровизации всего и вся, а также обработки так называемых больших данных (Big Data).

Однако принципиально новым шагом для человека стала разработка технологий искусственного интеллекта и машинного обучения, которые позволяют не только обрабатывать и анализировать получаемую

Искусственный интеллект быстро развивается. Созданный изначально как помощник в структурировании и систематизации растущих информационных потоков, он превращается в партнера человека

информацию по заданным человеком правилам, но и самим совершенствовать эти правила. Другими словами, компьютеры, изначально созданные в качестве помощников человеку для обработки и структурирования получаемой информации, сегодня имеют возможность для саморазвития, правда, пока лишь в пределах заложенных человеком алгоритмов. Но только пока!

Проникновение искусственного интеллекта в нашу повседневность происходит очень быстро. Искусственный интеллект, подключенный к соцсетям или крупным интернет-ресурсам, собирает огромные массивы информации о наших привычках, склонностях и увлечениях, а потом подбирает нам соответствующую контекстную рекламу, подсказывает, какие продукты

или одежду нам стоит купить, какие мероприятия посетить и т. д.

Сегодня алгоритмы искусственного интеллекта фактически заменили собой биржевых аналитиков, которые просто не имеют физической возможности конкурировать с алгоритмами в скорости принятия решений по купле-продаже активов на торговых площадках, поскольку они не способны так же быстро анализировать гигантские объемы поступающих данных, как это делают машины.

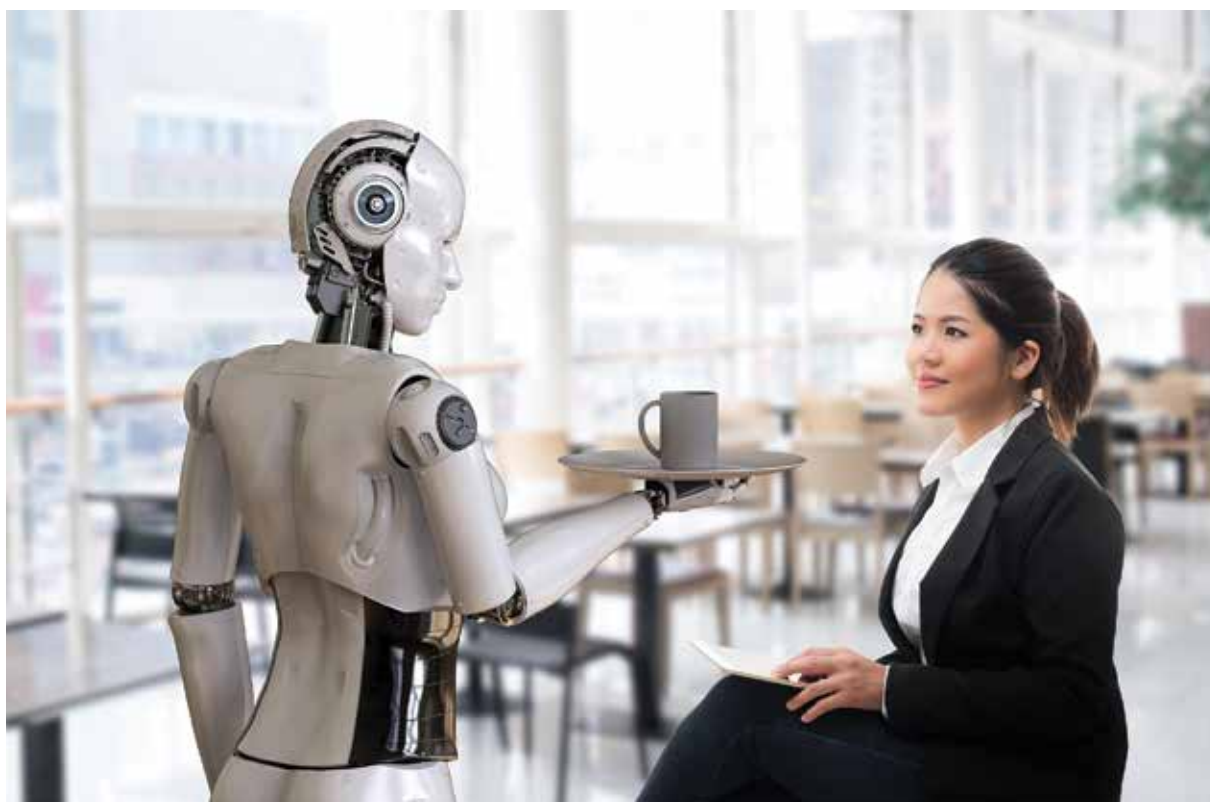
В ближайшей перспективе, во многом благодаря распространению технологий 5G (а в перспективе – уже и активно разрабатываемых технологий 6G), мы ожидаем масштабного появления беспилотного транспорта, управление которым также будет возложено на алгоритмы искусственного интеллекта. В будущем, это может привести к многоуровневой интеграции систем искусственного интеллекта в единые городские транспортные системы и т. д.

Аналогичный путь развития систем искусственного интеллекта видится и в других отраслях экономики, где уже создаются т. н. экосистемы, интегрирующие предпочтения потребителей и предлагающие последним пакетные решения для удовлетворения их нужд и потребностей.

Другими словами, искусственный интеллект очень быстро развивается и, созданный изначально как помощник

Концепция ресторана будущего

Источник: phonlamai / Depositphotos.com



Роботы все активнее внедряются в повседневную жизнь

Источник: Scharfsinn / Depositphotos.com

человека в обработке, структурировании и систематизации растущих и ускоряющихся информационных потоков, он, по сути, превращается в партнера человека. А статус партнерства предполагает, что скоро искусственный интеллект перестанет быть подчиненным человеку и станет, в какой-то степени, равноправным участником нашей жизни.

Сегодня много говорят о проблеме «лишних» людей в формирующемся энергоинформационном обществе, но подразумевают под этим, зачастую, лишь потерю традиционных рабочих мест в тех секторах, где человека легко могут заменить машины (водители такси, биржевые аналитики, продавцы, страховые агенты, банковские работники и пр.). Но проблема гораздо шире! И эта проблема связана с тем, что искусственный интеллект, по мере своего развития, вероятно, превзойдет человека в большинстве его функций, связанных с анализом и структурированием поступающей информации, и вытекающего из такого анализа принятия соответствующих решений.

И если не задуматься над этим вопросом сегодня, то можно легко представить картину будущего, когда основные процессы человеческой жизнедеятельности будут не только управляться, но и контролироваться искусственным интеллектом. Другими словами, уже человек может совсем скоро перестать быть равноправным партнером искусственного интеллекта

и попасть в подчиненное положение последнему.

И пандемия COVID-19 (точнее предложенные властями многих стран мира способы противодействия ей) как раз-таки внесла свой существенный вклад в развитие систем контроля над человеком и его деятельностью, в т. ч. с помощью систем искусственного интеллекта. Так, менее чем за год были введены программы удаленного контроля за активностью инфицированных людей, устанавливаемые на смартфонах по обязательному требованию эпидемиологических служб, а системы массового распознавания лиц уже активно применяются в ряде стран не только для удобства прохождения процедуры идентификации, но и для отслеживания перемещения человека в системах общественного транспорта, например.

Искусственный интеллект, по мере своего развития, превзойдет человека в большинстве функций, связанных с анализом и структурированием поступающей информации и принятием решений

Новые риски и возможности

Однако искусственный интеллект, дополненная реальность, цифровизация и информатизация всего и вся несут не только риски, но и новые возможности. По сути, на наших глазах формируется ноосфера. Ноосфера в том изначальном понимании, какое было заложено в этот термин его автором академиком В. И. Вернадским, когда разум является не просто высшей силой развития биосферы Земли, но основным инструментом сохранения ее гармонии и жизненного потенциала.

Еще одной непростой темой является проблема совершенствования природных способностей человека с помощью бионических технологий, которые уже сегодня позволяют не только заменять человеку недостающие конечности и отдельные внутренние органы, но и качественно улучшать его природные характеристики. Например, применение экзоскелетов позволяет человеку принципиально улучшить свои природные характеристики в части физической выносливости и силы.

Ведутся активные исследования человеческого генома, которые в перспективе могут позволить модифицировать уникальный человеческий геном и убирать из него гены, ответственные за риск развития тех или иных опасных заболеваний и формирование внешних недостатков.

Таким образом, бионические технологии и геновая инженерия в будущем, по-видимому, будут способны улучшать физическую природу человека. Более того, не исключено, что уже в скором будущем будут найдены способы улучшения аналитических возможностей человека путем соединения ресурсов человеческого мозга и компьютерных систем.

Бионические технологии будущего могут улучшить физическую природу человека. Могут быть найдены способы оптимизации работы человека путем соединения ресурсов мозга и компьютерных систем



В будущем роботы могут из помощников превратиться в партнеров человека

Источник:
sdecoret / Depositphotos.com

Другими словами, стремясь к адаптации к стремительно меняющейся реальности и пытаясь соперничать, в том числе с технологиями искусственного интеллекта, человек будет способен менять свои природные характеристики.

Как нам этически относиться к таким изменениям? Готовы ли мы к ним? Очевидно, что такие модификации человеческой природы требуют огромных затрат. Это, по-видимому, может привести к тому, что усовершенствование человеческой природы будет доступно только наиболее обеспеченным слоям человеческого общества. А это может привести к совершенно новому уровню общественного неравенства, которое будет определяться уже не уровнем доходов, но принципиально разными природными способностями обычных и усовершенствованных людей.

Представляется, что если человечество пойдет по такому пути, то оно рискует столкнуться с беспрецедентным ростом социальной напряженности и конфликтов, а также с появлением новых классов людей, которые будут определяться не их экономическим положением и статусом, а их искусственно модифицированными природными характеристиками.

Хотим ли мы этого? И если нет, то какие рамки в развитии технологий и какие этические основы формирующегося энергоинформационного общества должны быть созданы человечеством для того, чтобы избежать реализации наихудшего сценария развития событий в будущем?

Эти и другие вопросы ставит перед нами стремительно меняющаяся окружающая реальность, которая в условиях пандемии COVID-19 еще больше ускорила свою трансформацию. Они требуют поиска ответов с тем, чтобы человек и общество не только осознали происходящие с ними и вокруг них изменения, но и были готовы их принять и направить в благоприятное для их развития русло.

Ведь развитие новых информационных, энергетических и бионических технологий с применением искусственного интеллекта создают принципиально новые возможности человеческой цивилизации для прорыва в новые и перспективные сферы, в т. ч. в космос, освоение которого длительное время сдерживалось физическими возможностями человеческого разума и организма.

В этом контексте применение новых бионических технологий, партнерство человека и искусственного интеллекта открывают перед человечеством поистине безграничные возможности формирования новой космопланетарной цивилизации будущего, развитие которой не будет ограничиваться только человеком, обществом и окружающей нас средой обитания, но сможет охватить всю многомерность нашего мира в тесном партнерстве с дополненными реальностями, и, возможно, объединить человечество общностью целей построения нового планетарного будущего для всех.

Безусловно, сейчас это звучит как утопия, но при правильной оценке рисков и возможностей, которые открывают перед нами новые технологии, мы должны не «плыть по течению» изменений, которые уже происходят вокруг нас и не стремиться развернуть их вспять, а смело принять и осознать их, чтобы самим сформировать целевое видение нашего общего будущего и двигаться по пути его достижения с широко открытыми глазами!

Можно бесконечно долго ставить вопросы и обсуждать предстоящие возможности и риски новой реальности, но важно понимать, что развитие нашей цивилизации носит циклический характер, основанный на энергоматериальной и информационно-ноосферной трансформации окружающей нас реальности, а пандемия COVID-19 в этом контексте стала лишь значимым триггером перехода от одного (материально-экономического) состояния цивилизации к другому (социогуманитарному), что неоднократно имело место в прошлом и грянет – в будущем.

При этом, если исходить из того, что земная цивилизация является следствием космического влияния, то сегодня нам следует говорить о перспективной космической (в том числе ноосферной) экспансии будущего человечества. А следуя такому пониманию общего будущего человечества Россия может стать не только перекрестком между востоком и западом на поверхности планеты, но и своего рода «мостом» между Землей и космосом, спроектированным нашими космистами и космонавтами. И энергоинформационная космическая экспансия – это будущее России.

Виктор ЗАЙЧЕНКО
Заведующий лабораторией, д. т. н.,
профессор, Объединенный институт
высоких температур Российской академии
наук (ОИВТ РАН), г. Москва, Россия
e-mail: zaitch@oivtran.ru

Адольф ЧЕРНЯВСКИЙ
Главный специалист по экономике
и возобновляемым источникам энергии,
«Ростовтеплоэлектропроект» (филиал
«ЭНЕКС»), к. т. н.
e-mail: 1936@mail.ru

Александр ШЕВЧЕНКО
Инженер, к. т. н., Объединенный институт
высоких температур РАН (ОИВТ РАН)
e-mail: shev@jiht.ru

Victor ZAICHENKO
JIHT RAS, Moscow, Russia,
Doctor of Technical Sciences,
Head of the Laboratory, JIHT RAS
e-mail: zaitch@oivtran.ru

Adolf CHERNYAVSKY
«Rostov-teploelectroprojekt», JSC (branch of
«ENEX», JSC, Rostov-on-Don city), Candidate
of Technical Sciences, Chief Specialist in
Economics and Renewable Energy Sources
e-mail: 1936@mail.ru

Alexander SHEVCHENKO
JIHT RAS, Moscow, Russia, Engineer,
Candidate of Technical Sciences
e-mail: shev@jiht.ru

Конюшни являются одним из источников биомассы

Источник: gyn9037 / Depositphotos.com



Аннотация. В статье рассмотрены перспективные направления развития энергетики в России в соответствии с четвертым энергетическим переходом. Представлена оценка технико-экономических параметров использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ), а также новых энергетических технологий, разрабатываемых в нашей стране. К понятию ВИЭ относится также биомасса, включая отходы различных видов. Сформулированы предложения по компенсации потерь бюджета РФ из-за сокращения зарубежных поставок отечественных ископаемых топлив и при замене существующих дизельных электростанций в стране на ВИЭ.
Ключевые слова: энергопереход, энергоэффективность, ВИЭ, биотопливо, технологии конверсии и торрефикации биомассы.

Abstract. The article examines the promising directions of energy development in Russia in accordance with the «Fourth Energy Transition». The article presents an assessment of the technical and economic parameters of renewable energy sources (RES) use, as well as new energy technologies being developed in our country. The concept of renewable energy also includes biomass and various types of waste. Proposals have been formulated to compensate the losses of the budget of the Russian Federation due to a reduction in foreign supplies of domestic fossil fuels and replacing existing diesel power plants in the country with renewable energy sources.
Keywords: energy transition, energy efficiency, renewable energy sources, biofuels, biomass conversion and torrefication technologies.

“
В России сосредоточено
45–50 % мировых
запасов торфа и около
25 % древесины,
сотни миллионов
тонн древесных
и сельскохозяйственных
отходов

Термин «энергетический переход» (Energy Transition) был предложен Вацлавом Смилом [1] для описания перехода к новой схеме построения энергетических систем. Текущий энергопереход – уже четвертое преобразование структуры мировой энергетики. Первые три энергоперехода – от дров к углю, от угля к нефти и от нефти к природному газу – можно считать практически завершенными к началу 21 века.
Основная идея четвертого энергоперехода – рост благосостояния без угля, нефти и урана – была сформулирована ещё в 1980 году Институтом прикладной

экологии Германии и получила признание после крупных аварий на АЭС. В соответствии с решениями Парижской конференции 2015 года по климату [2], перед мировым сообществом поставлена цель: ограничить рост температуры на планете к 2050 году в пределах 2 °С. Считается, что для этого необходимо к 2050 г. использовать не более 10 % от имеющихся запасов углеводородных топлив. Это означает, что примерно 80 % мировых запасов угля, 50 % природного газа и 30 % нефти должны будут остаться неиспользованными. Разумно ли нам отказываться от такого природного богатства?
Многие страны, в том числе и Россия, ратифицировали решения Парижской конференции и приняли на себя обязательства по сокращению выбросов в атмосферу парниковых газов и перехода на безуглеродную энергетику.
Безотносительно к возможным причинам климатических изменений очевидно, что переход к безуглеродному развитию имеет необратимый характер, и нашей стране необходимо надлежащим образом скорректировать направления развития таким образом, чтобы планируемые изменения оказались бы выгодными для нашей экономики.
Основной причиной отказа от использования ископаемых топлив в решении Па-

рижской конференции рассматривается изменение климата. Потепление объясняют увеличением содержания двуокиси углерода в атмосфере. В тоже время, в определенных научных кругах считается, что наблюдаемое повышение средних температур является временным и закончится в ближайшие годы, после чего снова начнется снижение среднего уровня температуры на Земле. Резкие изменения температур на Земле уже происходили ранее. Напомним, что одной из причин недовольства русского народа правлением Бориса Годунова явилось то, что в июле 1601 г. Москва-река замерзла, урожая практически не было, в стране был голод.

Вместе с тем, безотносительно к действительным причинам происходящих температурных изменений, очевидным является необходимость разработки и реализации мероприятий по минимизации антропогенного воздействия деятельности человека на природное равновесие. В первую очередь это касается переработки того огромного количества отходов, которое образуется в результате человеческой деятельности.

Оптимальным направлением переработки отходов является их энергетическая утилизация. В этом плане отходы должны рассматриваться как местные топливно-энергетические ресурсы. Распределенное производство энергии, которое базируется, преимущественно, на использовании ВИЭ и местных топливно-энергетических ресурсов, с экономической точки зрения является более выгодным по отношению к традиционной энергетике на базе ископаемых топлив [3].

В определённой степени использование разных видов топлива в энергетике идет по кругу. Первоначально основным

Оптимальным направлением переработки отходов является их энергетическая утилизация. В этом плане отходы должны рассматриваться как местные возобновляемые топливно-энергетические ресурсы



Заготовки древесины
Источник: digoarpi / Depositphotos.com

сырьем для нее были твердые углеродсодержащие материалы (древесина, потом уголь), затем приоритетным стало использование нефти, на смену ей пришел природный газ. Теперь мы снова возвращаемся к использованию биомассы. При использовании биомассы в виде топлива природный баланс CO₂ не изменяется. Растения поглощают двуокись углерода в период роста, и то же самое количество этого газа выделяется в процессе переработки биомассы и естественной ее убыли (гниения). Дисбаланс CO₂ наступает тогда, когда на поверхность Земли извлекаются углеродные материалы, которые изначально были расположены в толще земли, и механизмы нейтрализации оксидов углерода, которые образуются при их использовании, в природе отсутствуют.

Россия, как известно, лидер по запасам ископаемых топлив: угля, нефти и природного газа. В то же время, на ее территории сосредоточено 45–50 % мировых запасов торфа и около 25 % древесины, сотни миллионов тонн древесных и сельскохозяйственных отходов, а также отходов жизнедеятельности различных видов, образующихся ежегодно. Все это является значительной ресурсной базой для углерод-нейтральной энергетики.

Стремительному развитию возобновляемой энергетики в мире способствует снижение удельных капитальных затрат на использование ВИЭ. В частности, при

сооружении ветроэлектрических станций (ВЭС) – на 40–60 % за последние 4–5 лет. Снижаются затраты и на внедрение других видов ВИЭ.

Высокодоходной нишей для сооружения быстроокупаемых генерирующих объектов на основе ВИЭ, является их использование для покрытия собственного энергопотребления различных предприятий и организаций. Получаемые выгоды определяются использованием электроэнергии от собственных энергоустановок по себестоимости – не более 2–2,5 руб./кВт·ч, вместо энергии из сети по цене 6–10 руб./кВт·ч. При этом окупаемость инвестиций в создание собственных энергоустановок и электростанций, как показывает имеющийся опыт, не превышает 4–8 лет.

Другой экономически оправданной областью применения ВИЭ является замещение дизельных электростанций (ДЭС) в удаленных изолированных районах, не обеспеченных централизованным энергоснабжением. Такие районы с населением более 20 млн человек составляют до 60–70 % территории Российской Федерации. Это северные территории, Приморье, горные районы Алтая, Дагестана, Северо-Кавказских республик, удаленные территории в центре европейской части РФ и т. п. Себестоимость электроэнергии в этих районах, в связи с дорогостоящим дизельным топливом и большими логис-

Производство торфа
Источник: Skaldis / Depositphotos.com



По данным АПБЭ, общая мощность дизельных и газопоршневых электростанций в РФ составляет порядка 17 ГВт. Ориентировочно 11,9 млн кВт или 70 % приходится на дизельные электростанции

стическими затратами на его доставку, составляет 30–80 руб./кВт·ч, а в отдельных местностях доходит и до 100–140 руб./кВт·ч. Здесь использование ВИЭ, а также энергоисточников на местных топливно-энергетических ресурсах, является наиболее выгодным.

По данным Агентства по прогнозированию балансов в энергетике (АПБЭ) общая мощность дизельных и газопоршневых электростанций в РФ составляет порядка 17 ГВт [5]. Ориентировочно 70 % из них – ДЭС, т. е. суммарную мощность ДЭС в России можно считать равной $\Sigma N_{\text{дэс}} = 0,7 \times 17 = 11,9 \text{ ГВт} = 11,9 \text{ млн кВт}$. Общая годовая выработка электроэнергии этими ДЭС равна:

$$W_{\text{дэс}} = K_{\text{иум}} \times \Sigma N_{\text{дэс}} \times t_{\text{год}} \quad (1)$$

где $K_{\text{иум}}$ – коэффициент использования установленной мощности;

$t_{\text{год}}$ – годовой фонд времени, ч/год.
Полагая $K_{\text{иум}} = 0,6$ и $t_{\text{год}} = 24 \times 365 = 8760$ ч/год, согласно выражению (1) находим:
 $W_{\text{дэс}} = 0,6 \times 11,9 \times 10^6 \times 8760 = 62,55 \times 10^9 \text{ кВт·ч} = 72,97 \text{ млрд кВт·ч/год}$.

Общая сумма дотаций для ДЭС из бюджетов всех рангов может быть рассчитана по формуле:

$$D = W_{\text{дэс}} (C_{\text{дэс}} - T_{\text{эл}}), \quad (2)$$

где $C_{\text{дэс}}$ – себестоимость производства электроэнергии на ДЭС, руб./кВт·ч;

$T_{\text{эл}}$ – установленный тариф на электроэнергию по действующей сетке в этих районах, руб./кВт·ч.

Принимая средневзвешенное для изолированных ДЭС значение себестоимости электроэнергии $C_{\text{дэс}} = 55 \text{ руб./кВт·ч}$ и типовое для этих районов значение на 01.07.2021 – $T_{\text{эл}} = 5,92 \text{ руб./кВт·ч}$, в соответствии с выражением (2), находим: $D = 62,55 \times 10^9 \times (55,00 - 5,92) = 3,07 \times 10^{12} \text{ руб./год}$, т. е. бюджетные расходы на дотации для ДЭС составляют более трех

триллионов рублей ежегодно, что сопоставимо с уровнем валового внутреннего продукта (ВВП) РФ, составившего в 2020 году около 108 триллионов руб.

Замена ДЭС на системы с использованием ВИЭ: солнечной, ветровой, гидроэнергии малых рек и ручьев, геотермальной энергии, энергии биомассы и т. п., является решением данной проблемы. Себестоимость получаемой электроэнергии на генерирующих объектах с ВИЭ в настоящее время в 2–4 раза ниже тарифов в территориальных энергосистемах. Поэтому, мало того, что использование ВИЭ позволит исключить бюджетные дотации, это, даже наоборот, дает возможность пополнить бюджеты всех рангов.

Удельные расходы на сооружение основных объектов возобновляемой энергетики – СЭС и ВЭС – в настоящее время не превышают $k_{уд} = 130$ млн руб./МВт. Для замены всех действующих ДЭС в РФ требуется сумма инвестиций (капитальных вложений), равная: $K = k_{уд} \times \sum N_{дэс} = 130$ млн руб./МВт $\times 11900$ МВт = 1 547 000 млн руб. = 1,55 трлн руб. (4). Эта сумма меньше, чем годовой объем бюджетных дотаций, выделяемых в настоящее время для обеспечения функционирования ДЭС. Поскольку проектирование и строительство СЭС

Для замены всех действующих дизельных электростанций в РФ потребуется 1,55 трлн руб. инвестиций. Эта сумма меньше, чем годовой объем бюджетных дотаций, выделяемых для функционирования ДЭС

и ВЭС имеют значительно более короткие циклы, чем в традиционной энергетике, эти затраты будут быстро окупаться и принести значительные прибыли.

По оценкам ОИВТ РАН, годовые объемы требуемых для этой программы инвестиций из бюджетов составят 300–500 млрд руб., что позволит получить значительный экономический эффект: на один инвестируемый рубль будет получен четырех-пятикратный бюджетный доход.

В существующих условиях модернизация российских ТЭС на базе традиционных технологий, как запланировано в Энергетической стратегии России до 2035 года [6]



Биоэлектростанция с хранением древесного топлива

Источник: *nostalgie / Depositphotos.com*

с заменой турбин и котлов, отработавших свой ресурс, на новые, пусть даже с несколько лучшими параметрами, приведет только к еще большему отставанию нашей энергетики от мирового уровня. Устанавливая сегодня новое паротурбинное и газотурбинное оборудование взамен изношенного, мы обрекаем себя на использование устаревающих энергетических технологий еще, как минимум, на 40 лет – на период, равный сроку службы этого оборудования. И, если еще всего 3–4 года назад эти вопросы не стояли так остро, то теперь уже недопустима потеря времени без внедрения новых технологий на основе ВИЭ.

В настоящее время ВЭС и СЭС обеспечивают наибольшие индексы доходности и рентабельности инвестиций. Поэтому многие компании отказываются от строительства АЭС и ТЭС в пользу технологий ВИЭ

В настоящее время [7], ВЭС и СЭС обеспечивают наибольший индекс доходности, и наивысшую рентабельность инвестиций. Именно поэтому многие энергетические компании пришли к выводу, что нет уже смысла, по экономическим соображениям, вести строительство АЭС и ТЭС, и предпочтение отдают технологиям на базе ВИЭ. Знаменательным можно считать, что такая мировая компания как Siemens сегодня уже сокращает производство своих высокоэффективных газовых турбин из-за значительного снижения спроса на них.

В мировом масштабе ВИЭ на сегодняшний день обеспечивают уже 26 % общего производства электроэнергии [8]. В настоящее время использование ВИЭ обеспечивает достижение «сетевого паритета» – полноценной экономической конкуренции возобновляемой энергетики с традиционной.

Сегодня удельные капитальные вложения, и себестоимость получения энергии от солнца и ветра стали в разы меньше, чем для ТЭС и АЭС [7]. Себестоимость электроэнергии зарубежных ветроэлектрических станций лежит в диапазоне 11–18 долл./МВт·ч, солнечных – 23–27 долл./МВт·ч. На традиционных зарубежных ТЭС и АЭС себестоимость электроэнергии – 40–100 долл./МВт·ч.

Добыча торфа

Источник: *vschlichting / Depositphotos.com*



Электрогенерирующие системы на основе энергии ветра и солнца отличаются низкими плотностями и существенной неравномерностью энергетических потоков, испытывающих значительные суточные и сезонные, а также случайные колебания. В составе таких установок должны быть системы резервирования и системы накопления энергии (СНЭ) [9].

В качестве решения проблемы получения кондиционного газа из биомассы предлагается очистка газов, получаемых при пиролизе и газификации от жидкой фракции. Это сложная и затратная задача

В мировой практике вопросы резервирования систем с ВИЭ решаются в настоящее время либо за счет подпитки от существующих энергосистем, либо за счет создания дублирующих источников. В России при существующих больших расстояниях между региональными энергосистемами на сегодняшний день не представляется возможным обеспечить резервирование сетью. Для создания дублирующих источников энергии оказывается целесообразным использование местных источников топлива, какими являются твердые бытовые отходы и биомасса.

Наша страна занимает лидирующее положение по запасам биомассы. К настоящему времени известны две технологии термической переработки биомассы с целью получения газового топлива: пиролиз и газификация. Несмотря на то, что основные принципы этих процессов известны уже более 150 лет, за это время проведен значительный объем исследований по их оптимизации, широкого промышленного использования эти технологии не получили.

При пиролизе (нагреве перерабатываемого материала без доступа окислителя) возможно получение энергетического газа (синтез-газа) с теплотворной способностью до 5000 ккал/м³. Побочными продуктами пиролиза являются твердая и жидкая фазы. Теплота сгорания получаемой газообразной фазы не превышает 25 % от энергии,

аккумулированной в перерабатываемой биомассе. Оставшаяся энергия распределяется между жидкой и твердой фазами. Разделение получаемых в процессе пиролиза продуктов, необходимое для их эффективного использования в энергетических установках, требует значительных затрат.

При газификация теплотворная способность получаемого газа не превышает 1300 ккал/м³, адиабатная температура горения – 1400 °С. Содержание горючих компонентов в получаемом газе, как правило, не более 45 %, остальное – азот и двуокись углерода. Использование газа с низкой теплотворной способностью в современных энергетических агрегатах, рассчитанных на высокие тепловые нагрузки, неэффективно. Газ, получаемый в процессах газификации, также содержит жидкую фазу, что создает определенные трудности при его использовании в электропроизводящем оборудовании.

В качестве основного решения проблемы получения кондиционного газа из биомассы рассматриваются процессы очистки газов, получаемых при пиролизе и газификации от жидкой фракции (высокомолекулярных соединений). Это достаточно сложная задача, требующая больших затрат.

Биогазовая установка

Источник: CreativeNature / Depositphotos.com



Завод биотоплива

Источник: Stockr / Depositphotos.com

Технология термической конверсии биомассы ОИВТ РАН

Эффективная технология конверсии биомассы разработана в ОИВТ РАН – Объединенном институте высоких температур РАН. Сущность этой технологии заключается в проведении на первой стадии процесса пиролиза биомассы с получением биоугля и парогазовой смеси летучих продуктов и последующей пиролизической конверсии, на второй стадии при температуре порядка 1000 °С. При пребывании в зоне высоких температур происходит термическое разложение конденсирующихся фракций с образованием водорода и углерода. Водяной пар и диоксид углерода, содержащиеся в летучих, газифицируют образующийся биоуголь с образованием монооксида углерода и водорода [10].

Основными компонентами синтез-газа являются CO и H₂. Их суммарная объемная доля для большинства видов биомассы составляет не менее 90 %, причём соотношение объемных долей H₂/CO может варьироваться в достаточно широком диапазоне значений (1–2,2) в зависимости от вида сырья, его предварительной подготовки, а также режима переработки. Для целевого применения желательно иметь возможность получения синтез-газа с заданным соотношением объемных долей H₂/CO.

Например, для каталитического синтеза бензиновой фракции оптимальным соотношением является величина, близкая к двум, а для выделения водорода в чистом виде предпочтительна максимальная объемная доля H₂ в синтез-газе. Отсутствие балластных газов обуславливает сравнительно высокую удельную теплоту сгорания синтез-газа – на уровне 9–15 МДж/м³ и делает возможным его применение не только в газопоршневых электроагрегатах, но и в микротурбинных электрогенераторах.

Одним из важнейших показателей, характеризующих качество синтез-газа, является количественное содержание смол. Согласно существующим нормам, для использования синтез-газа в двигателях внутреннего сгорания удельное содержание смол в синтез-газе должно быть более 50 мг/м³ [12]. В энергетическом газе, получаемом по технологии ОИВТ РАН, содержание жидкой фазы на уровне 40 мг/м³ [12].

Вышеперечисленные достоинства получаемого синтез-газа обеспечивают большой потенциал для его применения, в том числе использование в качестве топлива в двигателях внутреннего сгорания с целью когенерационной выработки тепловой и электрической энергии [13], использование в качестве сырья для получения «зеленого» водорода, а также использование в качестве сырья для каталитического синтеза ценных жидких химических продуктов: метанола, диметилового эфира, ароматических углеводородов, марочного бензина и дизельного топлива [14, 15].

Основными компонентами синтез-газа являются CO и H₂. Их доля в биомассе составляет не менее 90 %, причём соотношение долей H₂/CO варьируется от 1 до 2,2 в зависимости от сырья

Экспериментальные исследования процесса двухстадийной пиролизической переработки проводились на лабораторном стенде, схема и подробное описание работы которого приведены в работе [16].

Вид биомассы	Удельный выход, м³/кг	Компонентный состав,% об.			Отношение объёмных долей H₂/CO	Низшая теплота сгорания, МДж/м³
		H₂	CO	C _n H _m		
Древесина	1,39	46	46	0	1	10,8
Древесная кора	1,24...1,31	50...66	17...47	0...16	1,05...2,2	11,5...14,9
Торф	1,39	49	41	1	1,2	10,8
Солома	1,35	40	38	0	1,05	9,1
Лузга подсолнечника	1,39	43	37	0	1,16	9,3
Осадки сточных вод (ОСВ)	1,04	53	27	5	1,96	10
Помётно-подстилочная масса	1,3	46	37	1	1,24	10,9

Таблица 1

В таблице 1 приведены значения удельного выхода, компонентного состава и теплоты сгорания синтез-газа, полученного из различных видов биомассы [17].

Из представленных данных видно, что большая часть биомассы растительного происхождения даёт близкие результаты как по удельному выходу, так и по составу синтез-газа, что делает процесс универсальным. Существенные отличия наблюдаются для таких видов биомассы, как осадки сточных вод, а также для некоторых видов коры деревьев, в частности осины и берёзы. Эффективность преобразования энергии биомассы в синтез-газ для исследованных видов биомассы лежит в диапазоне 0,65–0,78 и примерно в 3–3,5 раза превышает аналогичный показатель для пиролиза.

Синтез-газ с соотношением H₂/CO порядка 2, в частности из остатков сточных вод, может быть использован для синтеза жидких топлив [14]. В ходе экспериментальной отработки процесса получения жидких топлив из сточных вод было показано, что при переработке 1 кг данного вида сырья с влажностью 3–5 % может быть получено 150–155 г бензина АИ 92.

Синтез-газ в пропорции H₂/CO около 2 из остатков сточных вод может использоваться для синтеза жидких топлив. В ходе эксперимента по переработке 1 кг этого сырья было получено 155 г бензина

Новая технология торрефикации биомассы

Одним из перспективных направлений энергетического перехода является широкое использование биотоплива, как в твердом виде, так и в виде авиационного биокеросина.

Получение твердого торрефицированного биотоплива из различных видов биомассы – это еще одна энергоэффективная технология, разработанная в ОИВТ РАН [18]. При нагреве биомассы в бескислородной среде до температуры 270–300 °С происходит частичная термическая деструкция основных компонентов органической части растительной биомассы (гемицеллюлоза, целлюлоза и лигнин). В результате образуется твердый углеродный остаток, который характеризуется удельной теплотой сгорания на 15–20 % выше, чем исходная биомасса. При этом он обладает гидрофобными свойствами. Это в значительной степени снижает затраты на транспортировку и хранение данного вида топлив.

Торрефикат – это топливо, которое обладает одновременно свойствами энергетических углей (имеется ввиду удельная теплота сгорания, низкие затраты энергии на размол) и исходной древесины (низкие зольность, содержание серы и тяжелых металлов). Торрефикат может быть использован в качестве топлива при совместном сжигании с углем, либо как самостоятельное топливо в существующих твердотопливных энергетических установках. Замещение ископаемого угля торрефикатом – это, помимо декарбонизации, еще и решение экологических проблем, связанных с утилизацией отходов.

Исследования по созданию промышленных методов торрефикации ведутся

во многих научных центрах мира. Однако, до настоящего времени промышленной технологии торрефикации не создано. Причиной этому являются высокие затраты на получение торрефицированного топлива, которые не окупаются при его использовании в энергетических установках.

Пиролиз биомассы протекает как с поглощением, так и с выделением тепла. Причем, в температурном диапазоне 250–300 °С, характерном для процесса торрефикации, основной вклад дают экзотермические реакции, связанные с распадом гемицеллюлозы. Проведенные в ОИВТ РАН исследования позволили создать процесс торрефикации [19], в котором, за счет использования управляемой экзотермической реакции, удалось в несколько раз снизить энергозатраты на процесс торрефикации по сравнению с классической схемой.

Эффект экзотермического выделения тепла при нагреве биомассы известен давно и широко использовался в XVIII–XIX веках при получении древесного угля, в том числе для металлургического производства. Древесные поленья, помещенные в яму, поджигали и при достижении

Торрефикат может быть использован как самостоятельное топливо или при сжигании с углем. Замещение угля торрефикатом – это, помимо декарбонизации, еще и решение проблем утилизации отходов

температуры порядка 300 °С засыпали землей. Дальнейшее повышение температуры в перерабатываемой древесине осуществлялось за счет экзотермического выделения тепла, при этом температура достигала 800–900 °С. Этот процесс получил название углежжение [20].

Процесс торрефикации происходит в более узком температурном диапазоне, чем углежжение, при этом необходимым является контроль температурного уровня, чтобы не допускать перехода в углежжение. При этом существенная нелинейность тем-

Печь для гранул

Источник: jovanjaric / Depositphotos.com



Проведенные ОИВТ РАН исследования позволили создать процесс торрефикации, в котором за счет управляемой экзотермической реакции удалось в несколько раз снизить энергозатраты

пературной зависимости экзотермической энергии затрудняет управление такой системой. Поэтому в мировой практике в реакторах торрефикации стараются не допускать возникновения экзотермического разогрева. В разрабатываемом в ОИВТ РАН процессе торрефикации, в отличие от существующих разработок, предусмотрено использование тепла, выделяемого при экзотермическом разогреве перерабатываемой биомассы.

Для демонстрации преимуществ технологии, разрабатываемой в ОИВТ РАН, на установке по торрефикации производительностью по перерабатываемой биомассе 120–150 кг/час были проведены эксперименты по «классической» схеме (с выдержкой при рабочей температуре в течении 30 минут) с подавлением экзотермической реакции (режим А) и торрефикация с частичным использованием экзотермического тепла (режим Б). В первом случае подавление экзотермической реакции потребовало увеличения скорости потока теплоносителя через слой обрабатываемого сырья. Во втором случае расход теплоносителя оставался постоянным в течении всего эксперимента, а удельная производительность оказалась более чем в 5 раз выше.

В таблице 2 представлены данные элементного анализа и теплоты сгорания торрефицированных пеллет, полученных в каждом из экспериментов, а также характеристики исходного сырья [21].

Из данных таблицы 2 следует, что режим Б с управляемой экзотермической реакцией позволяет получить пеллеты по качеству практически идентичные «классическому» торрефикату (режим А) при значительно более высокой производительности.

Технико-экономические оценки

Важнейшую роль в определении перспектив развития энергетики в России играет экономический фактор. Основным показателем эффективности для рассматриваемых технологий – себестоимость получаемой электроэнергии. В 2019 году себестоимость электроэнергии на традиционных источниках в РФ по данным «Сколково» составляла:

- на угольных ТЭС – 2,4...4,59 руб./кВт·ч;
- на газовых ПГУ – 3,27 руб./кВт·ч;
- на газовых ГТУ – 4,25 руб./кВт·ч.

В настоящее время с учетом инфляции и эскалации цен эти цифры стали больше на 8–10 %. Они будут расти далее. Себестоимость же электроэнергии на российских солнечных и ветряных электростанциях не превышает 2,2–2,3 руб./кВт·ч [8], и она продолжает снижаться. Согласно выполненным расчётам, себестоимость электроэнергии, получаемой традиционным сжиганием на новых тепловых и атомных электростанциях или реконструируемых существующих, имеет сроки окупаемости, превышающие сроки службы основного их технологического оборудования или вовсе не имеет окупаемости. Поэтому в последние годы сооружение или реконструкция

Таблица 2. Аналитические характеристики полученного торрефиката для сухого состояния

Характеристика		Исходное сырье	Торрефикат, режим А	Торрефикат, режим Б
Зольность, %		0,32	0,48	0,43
Элементный состав, %	С	49,92	54,51	55,87
	Н	6,11	6,125	6,001
	Н	0,09	0,06	0,055
	О	0,02	0	0
Низшая теплота сгорания, МДж/кг		43,54	38,82	37,664
Производительность, кг/ч		18,48	20,56	21,03
		-	27	130



Березовский угольный разрез

Источник: «СУЭК»

электростанций с приемлемой окупаемостью оказываются возможными только при наличии поддержки из государственного бюджета, осуществляемого по так называемым договорам предоставления мощности (ДПМ). В результате этого энергетика, которая ранее являлась одним из основных источников пополнения государственного бюджета, превратилась в дотационную отрасль экономики – наравне с образованием, медициной и т. п. Основной причиной этого является непомерный рост стоимости ископаемого топлива при существующих, уже доведенных до предела, тарифах на электрическую и тепловую энергию.

В мире идет интенсивный отказ от использования угольных ТЭС и АЭС, дающих дорогую электроэнергию и оказывающих значительное отрицательное влияние на природное равновесие. Результаты оценочных расчетов показывают, что в РФ уже в сегодняшних реалиях возможна высокая эффективность внедрения оптимизированных комбинированных систем генерации, использующих ВИЭ [4, 7]. При этом комбинированные системы на базе ВИЭ могут обеспечить минимальную потребность в резервных системах генерации с дорогами пока накопителями электроэнергии большой емкости, например, с использо-

ванием водорода. Большой эффект обеспечивает комбинация таких систем как СЭС, ВЭС и БиоТЭС: при использовании биомассы будут компенсироваться колебания производительности солнечных и ветровых электростанций при изменении метеорологических условий.

Помимо добровольных начинаний в сфере низкоуглеродного развития начинают появляться меры и принудительного характера. Экологический план EU Green Deal, представленный Еврокомиссией 14 июля 2021 г., предполагает снижение к 2030 году атмосферных выбросов на 55 % к уровню 1990 года за счёт введения трансграничного углеродного налога (Carbon

Эффективность преобразования энергии биомассы в синтез-газ для исследованных видов сырья лежит в диапазоне 0,65–0,78 и примерно в 3–3,5 раза превышает аналогичный показатель для пиролиза

Border Adjustment Mechanism, CBAM) на импорт в страны ЕС стали, цемента, алюминия, удобрений и электроэнергии. Это, как подсчитали в Минэкономразвития, обойдется российским поставщикам в 1,1 евро млрд ежегодно. В дальнейшем углеродный налог может быть распространен и на другие группы товаров, в т. ч. на нефтепродукты, экспорт которых в ЕС в 2020 году составил более 60 % общего объема (€ 60,1 млрд из €95,3 млрд). Для того, чтобы избежать катастрофических потерь бюджетных поступлений, связанных с уменьшением спроса на нефть и газ, а также с введением углеродных пошлин, необходимо безотлагательно определить направления развития российских низкоуглеродных технологий и начать активное финансирование разработок в данной сфере.

Вот здесь и появляется необходимость государственного регулирования в решении возникших проблем с разработкой целевых программ по оптимизации сопряжения возобновляемой и традиционной энергетики, разработками графиков замены отслуживших свои сроки генерирующих объектов на системы с ВИЭ и пр. До сих пор внедрение систем с ВИЭ производится в РФ, в основном, стихийно. Это привело в ряде случаев к снижению производительности, простоям энергоблоков и потерям прибыли в традиционной энергетике. В странах ЕС такая практика уже привела к потерям в энергосистемах в объеме около 20 трлн долларов [23].

Заключение

Реализация задач четвертого энергоперехода в России делает необходимым разработку и внедрение новых методов получения энергии, отвечающих требованиям перехода к низкоуглеродной энергетике. Это должны быть методы возобновляемой энергетики, к которым относятся и энергетические технологии использования биомассы. Если в области ВИЭ к настоящему времени накоплен значительный опыт, то применительно к топливному использованию биомассы необходима разработка новых эффективных технических решений. В данной статье приведено описание новых технологий получения из биомассы квалифицированных газовых и твердых топлив. Разрабатываемые технологии отработаны в ОИВТ РАН на крупномасштабных экспериментальных установках. Следующим этапом развития данных технологий должен быть переход к опытно-промышленным испытаниям, в рамках которых будет разработана техническая документация, необходимая для организации промышленного производства установок данного назначения.

Данные установки будут пользоваться большим спросом за границей. Экспорт этой продукции позволит в определенной степени компенсировать потери бюджета нашей страны, связанные с сокращением потребления угля и нефти.



Биогазовая установка

Источник: vladvitek / Depositphotos.com

Использованные источники

1. Smil Vaclav. *Energy and Civilization: a History* // MIT Press, 2018.
2. *A European long-term strategic vision for a prosperous, modern, competitive and climate neutral economy. A Clean Planet for all.* – Brussel, November 2018.
3. Батенин В.М., Зайченко В.М., Леонтьев А.И., Чернявский А.А. Концепция развития распределенной энергетики в России // Известия академии наук. Энергетика. № 1, 2017. С. 3–18.
4. Фортон В.Е., Попель О.С. *Энергетика в современном мире* // Долгопрудный: изд. дом «Интеллект». 2011. – 168 с. ISBN 978-5-91559-095-2.
5. Зайченко В.М., Крылова А.Ю., Чернявский А.А. О «лишней» электроэнергии в Магаданской области // Энергетическая политика. № 3, 2020. С. 46–51.
6. Энергетическая стратегия Российской Федерации до 2035 года // Распоряжение Правительства РФ от 09.06.2017 г. № 1209-р.
7. Зайченко В.М., Чернявский А.А. Создание систем гарантированного энергообеспечения с использованием комбинированных источников энергии // Энергетическая политика. № 10, 2020. С. 90–103.
8. Альтернативная энергетика: перспективы развития рынка ВИЭ в России // Энергетика и промышленность России, 2021.
9. Зайченко В.М., Чернявский А.А. Автономные системы энергоснабжения // ООО «Издательский дом «НЕДРА», 2015. – 285 с. ISBN 978-5-8365-0458-17.
10. Батенин В.М., Бессмертных А.В., Зайченко В.М., Косов В.Ф., Синельщиков В.А. Термические методы переработки древесины и торфа в энергетических целях // Теплоэнергетика. № 11, 2010. С. 36–42.
11. Thapa, S. Gas refrigerating and biomass filter using influence on tar removal / S. Thapa, P.R. Bhoi, A. Kumar, R.L. Huhnke // *Energies*. V. 10, 2017. P. 349.
12. Зайченко В.М., Лавренов В.А., Синельщиков В.А. Исследование характеристик газообразного топлива, получаемого методом двухстадийной пиролизической конверсии древесных отходов // Альтернативная энергетика и экология. № 23–24, 2016. С. 42–50.
13. Чирков В.Г. Мини-ТЭС на пиролизном топливе // Теплоэнергетика. № 8, 2007. С. 35–39.
14. Ершов М.А., Зайченко В.М., Качалов В.В., Климов Н.А., Лавренов В.А., Лищинер И.И., Малова О.В., Тарасов А.Л. Синтез базового компонента авиабензина из синтез-газа, полученного из биомассы // Экология и промышленность России. Т. 20. № 12, 2016. С. 25–29.
15. Косова Н.И., Курина Л.Н. Каталитический одностадийный процесс получения диметилового эфира из синтез-газа // Химия в интересах устойчивого развития. Т. 19. 2011. С. 211.
16. Khaskhachikh V.V., Krysanova K.O., Lavrenov V.A., Zaichenko V.M. Comparison of Charcoal, Ceramics and Dolomite as a Bed Material in Two-Stage Pyrolytic Processing of Wood Waste into the Synthesis Gas // *Chemical Engineering Transactions*. V. 76, 2019. P. 1465–1470.
17. Левин Э.Д. Теоретические основы получения древесного угля // Лесная промышленность, 1980. – 151 с.
18. Зайченко В. М., Ларина О.М., Марков А. В., Морозов А. В. Патент РФ на полезную модель – Реактор для термической торрефикации биомассы (RU) № 175131, 22.11.2017 г.
19. Зайченко В.М., Марков А.В., Морозов А.В., Сычев Г.А., Шевченко А.Л. Устройство по торрефикации гранулированной биомассы с воздушным подогревом. Патент РФ на изобретение (RU) № 2690477 С1, 03.06.2019 г.
20. Левин Э.Д. Теоретические основы получения древесного угля // Лесная промышленность, 1980. – 151 с.
21. Sytchev G.A., Zaichenko V.M. Plant origin biomass torrefaction process. Investigation of exothermic process during torrefaction // *European Biomass Conference and Exhibition Proceedings*. 2018. P. 1236–1239.
22. Директор Л.Б., Зайченко В.М., Исьямин Р.Л., Чернявский А.А., Шевченко А.Л. Сравнение эффективности реакторов низкотемпературного пиролиза биомассы // Теплоэнергетика. № 5, 2020. С. 60–69.
23. Традиционная энергетика потеряет 20 триллионов долларов из-за возобновляемых источников энергии // *EEnergy Media*. 2018. – URL: Electrovesty.net.

Низкоуглеродная перестройка электроэнергетики России до 2035 года: потенциал снижения эмиссии CO₂ и его «цена» для потребителя

Low-carbon transition of the Russian power industry until 2035: potential of emission reduction and its «cost» for consumers

Федор ВЕСЕЛОВ
Заместитель директора
ИНЭИ РАН, к. э. н.
e-mail: erifedor@mail.ru

Андрей СОЛЯНИК
Научный сотрудник отдела
научных основ развития систем
энергетики ИНЭИ РАН, к. э. н.
e-mail: andsolyanik@yandex.ru

Людмила УРВАНЦЕВА
Старший научный сотрудник отдела
научных основ развития систем
энергетики ИНЭИ РАН
e-mail: erifedor@mail.ru

Fedor VESELOV
Deputy Director,
Energy Research Institute of RAS
e-mail: erifedor@mail.ru

Andrey SOLYANIK
Research fellow, Department
of scientific basics of energy system
development, Energy Research Institute of RAS
e-mail: andsolyanik@yandex.ru

Lyudmila URVANTSEVA
Senior research fellow, Department
of scientific basics of energy system
development, Energy Research Institute of RAS
e-mail: erifedor@mail.ru

Аннотация. В статье выполнен сценарный анализ необходимых масштабов технологической перестройки в структуре генерирующих мощностей в ЕЭС России до 2035 года, обеспечивающих достижение целевых показателей развития электроэнергетики, уже утвержденных в различных стратегических документах на государственном уровне. Исследована связь данных целевых показателей с уровнем углеродной интенсивности производства электроэнергии. Количественно определены ценовые параметры для реализации различных сценариев низкоуглеродной технологической перестройки электроэнергетики. Показана принципиальная возможность достижения поставленных целей по повышению энергоэффективности тепловых электростанций и развитию возобновляемой энергетики в ближайшие 15 лет и одновременного существенного снижения углеродной интенсивности производства. Однако условиями для этого являются переход к качественно иным темпам инвестирования в отрасли и серьезная корректировка ценовой политики.
Ключевые слова: развитие электроэнергетики, структура генерирующих мощностей, цены электроэнергии, углеродная интенсивность, технологическая перестройка.

Abstract. The paper presents a multi-scenario analysis of the Russian power industry's technological transition scales, ensuring achievement of its targets presented in strategic documents approved at the state level. We also estimated the relation between these targets and the carbon intensity of the power generation. The price implications of the different scenarios of the power industry's low-carbon technological transition are quantitatively assessed, too. The research shows a principle possibility of achieving the declared targets concerning increase in thermal generation efficiency as well as renewables growth in the nearest 15 years, with simultaneous reduction in the industry's carbon intensity. However, this requires a transition toward principally new pace of the investments in the power sector and serious amendments to the actual price policy.
Keywords: power industry development, generation capacity structure, electricity prices, carbon intensity, technological transition.



Уже 48 стран мира, ответственных за 46 % мировых выбросов CO₂, установили цель по достижению углеродной нейтральности к 2050–2060 гг.

Введение

В последние 10–15 лет одной из центральных тем в мировой политике и энергетике стала так называемая «климатическая повестка», связанная с необходимостью ограничения негативного антропогенного

влияния на окружающую среду, прежде всего – темпов сдерживания глобального потепления. Ключевой целью борьбы с изменением климата является предотвращение экстремального повышения среднемировой температуры до уровня свыше 2 °С от доиндустриального уровня. Парижское соглашение по климату, ратифицированное почти всеми странами-членами ООН (включая Россию), предусматривает для каждой из них в различном виде количественные обязательства по сдерживанию роста или снижению эмиссии парниковых газов. Эти обязательства должны каждые 5 лет пересматриваться странами в сторону их все большего ужесточения на последующий период. Более того, уже 48 стран мира, ответственных за 46 % глобальных выбросов парниковых газов, в том или ином виде установили цель по достижению углеродной нейтральности своих экономик к 2050–2060 гг. [1].

В процессах декарбонизации особое внимание уделяется электроэнергетике по нескольким причинам. В большинстве стран электроэнергетика является одним



Сулинская ветроэлектростанция

Источник: mdv63.ru

из крупнейших потребителей органического топлива (местного или импортируемого), и в то же время она обладает уникальными техническими возможностями по использованию разного рода безуглеродных энергоресурсов (атомной, гидро-, ветровой, солнечной энергии, биомассы). При этом научно-технический прогресс открывает все больше возможностей для использования электричества взамен традиционного топлива в промышленности, коммунальном хозяйстве, транспорте.

В последние 10–20 лет ряд государств (особенно – экономически развитых) ведут целенаправленную технологическую перестройку электроэнергетики, снижая

углеродную интенсивность производства электроэнергии, прежде всего за счет развития генерации из возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Суммарный объем мировых инвестиций в возобновляемые источники энергии за прошедшее десятилетие оценивается в 2,6 трлн долларов [2]. При этом ряд российских и зарубежных экспертов справедливо указывают на риски избыточного роста тарифов на электроэнергию и тепло в условиях энергоперехода – с соответствующим негативным влиянием на темпы роста национальной экономики и уровень благосостояния населения [3, 4].

Россия в настоящее время находится лишь в начале масштабной технологической трансформации национальной электроэнергетики. Эти изменения, с одной стороны, должны, как и во всех крупных странах мира, обеспечить заметный вклад отрасли в снижение выбросов парниковых газов. С другой стороны, при любых изменениях необходимо сохранить устойчивость социально-экономического развития страны, рост экономики и жизненного уровня населения. В этой связи представляется важным оценить экологические и ценовые последствия уже принятых решений по изменениям в структуре генерирующих мощностей на ближайшие 15 лет, до 2035 года.

К 2000 году общий объем эмиссии парниковых газов в России снизился на 55 %, и даже в настоящее время, с учетом накопленного экономического роста, он составляет всего 53 % от уровня 1990 г.

Анализ целевых показателей развития электроэнергетики и их вклада в реализацию климатической повестки

Оценивая экономику России с точки зрения климатической повестки, нельзя не отметить уникальное по своему объему снижение абсолютных объемов эмиссии парниковых газов в течение последнего десятилетия XX века, достигнутое ценой сильнейших социальных и экономических потрясений. К 2000 году общий объем эмиссии парниковых газов (с учетом вклада землепользования и лесного хозяйства) снизился на 55 %, и даже в настоящее время, с учетом накопленного экономического роста, он составляет всего 53 % от уровня 1990 г.

Однако общий объем выбросов CO₂, связанных со сжиганием топлива (из которого около 40 % приходится на электростанции), снизился в меньшей степени, и в 1998 году составлял 65 % от уровня 1990 года (к 2019 году вырос до 75 %). По данным Международного энергетического агентства (МЭА), в 2019 году по удельному показателю выбросов CO₂ на единицу ВВП (около 1,1 кг CO₂/долл. 2015 года) Россия остается среди худших

Саяно-Шушенская ГЭС

Источник: tourism.gov.ru



По данным МЭА, в 2019 году по удельному показателю выбросов CO₂ на единицу ВВП Россия остается среди худших экономик мира, уступая не только США и Евросоюзу, но также Китаю и Индии

экономик мира, уступая не только США и Евросоюзу (по 0,2 кг CO₂/долл. 2015 года), но также Китаю и Индии (0,7 и 0,9 кг CO₂/долл. 2015 года).

При этом электроэнергетика страны, в силу структуры потребляемых энергоресурсов (55 % потребляемых энергоресурсов приходится на газ, еще 25 % на безуглеродные источники, прежде всего, АЭС и ГЭС), характеризуется достаточно низким уровнем удельной эмиссии CO₂ при производстве электроэнергии. Расчеты, выполненные на основе статистики МЭА [5], показывают, что сейчас он составляет порядка 250 г CO₂/кВт·ч. Это сопоставимо

Электроэнергетика РФ, в силу структуры потребляемых энергоресурсов, характеризуется достаточно низким уровнем удельной эмиссии CO₂ при производстве электроэнергии – около 250 г CO₂/кВт·ч

с европейским (230 г CO₂/кВт·ч) и заметно ниже, чем в среднем по миру (440 г CO₂/кВт·ч), в США (400 г CO₂/кВт·ч) или Китае (540 г CO₂/кВт·ч).

Масштабы и темпы дальнейшего снижения углеродной интенсивности в российской электроэнергетике прямо связаны с национальными целями низкоуглеродного развития в средне- и долгосрочной перспективе и стратегиями их достижения. На среднесрочную перспективу, согласно указу президента РФ, уровень эмиссии парниковых газов в России к 2030 году не должен превысить 70 % от уровня 1990 года. С учетом более низкого фактического объема выбросов такая цель еще не делает климатическую повестку доминантой при реализации экономической и энергетической политики в стране.

Правила Парижского соглашения по климату, подписанного и Россией, обязывают всех стран-участниц регулярно пересматривать свои обязательства по эмиссии парниковых газов в сторону их еще большего ужесточения. Это означает, что на горизонте за 2030 годом наша страна должна будет заявлять все более и более амбициозные цели по снижению объемов выбросов. Для этого разрабатывается стратегия долгосрочного развития России с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 (2060) года, утверждение которой планируется в 2021 году. Однако в существующем виде она определяет лишь общие тенденции и объемы снижения выбросов парниковых газов, в то время как для выстраивания конкретной системы действий по декарбонизации и сопутствующих экономических и регуляторных механизмов необходима детализация прогнозных объемов снижения эмиссии по секторам экономики,

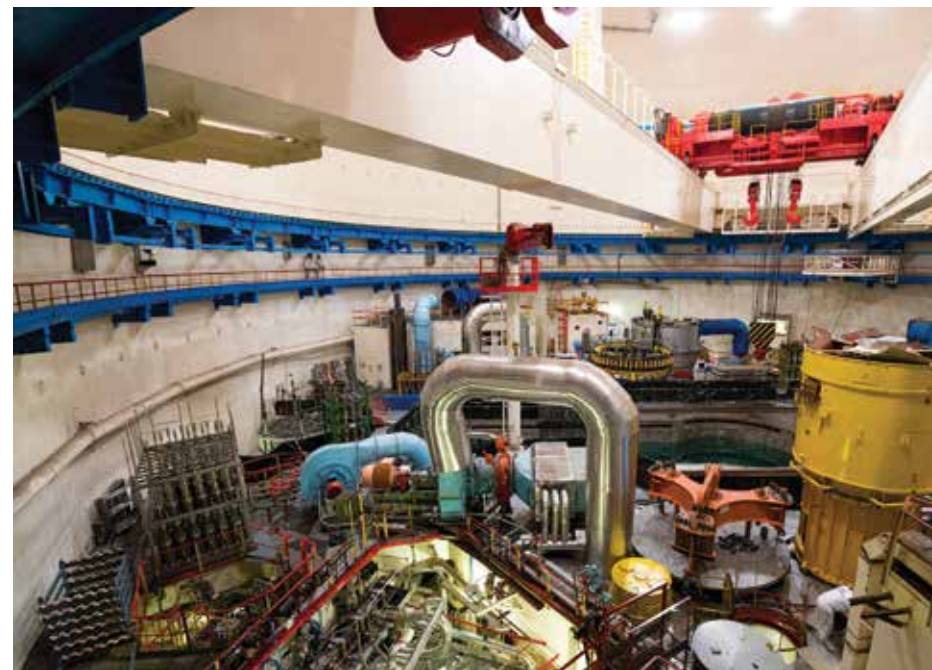
включая и электроэнергетику, исходя из прогнозных изменений структуры всего топливно-энергетического баланса. Такая неопределенность, конечно же, сдерживает возможности системно подойти к формированию сценариев низкоуглеродного развития электроэнергетики как одного из крупнейших эмитентов парниковых газов, используя все имеющиеся технологические возможности, включая повышение энергоэффективности в теплоэнергетике, развитие теплофикации, увеличение доли атомной, гидро- и возобновляемой энергетики, адаптацию электросетевого комплекса к новой структуре генерирующих мощностей.

В настоящее время целевые показатели развития электроэнергетики, которые можно соотнести с низкоуглеродными задачами, определены разрозненно, лишь для некоторых секторов (и не всегда однозначно) в различных документах стратегического планирования и правительственных решениях.

В наименьшей степени показатели участия определены для АЭС и ГЭС. При общем понимании ключевой роли атомной энергетики в декарбонизации в принятой в 2017 году генеральной схеме размещения объектов электроэнергетики, доля АЭС в общем производстве электроэнергии снижается до 18,5 % к 2035 году [6]. В настоящее время обсуждается вопрос о повышении к 2045 году доли АЭС до 25 %

Нововоронежская АЭС

Источник: rosenergoatom.ru



Балаковская АЭС (реактор)

Источник: go64.ru

от общего производства. Возможности для такого «рывка» во многом определяются готовностью энергомашиностроительного комплекса для атомной энергетики, с учетом уже имеющихся обязательств по строительству АЭС за рубежом. В отношении ГЭС пока отсутствуют четкие показатели по эффективному увеличению доли гидрогенерации в восточных районах страны, в том числе и для частичного замещения электроэнергии от угольных ТЭС.

В отношении тепловых электростанций целевым показателем, отражающим их энергоэффективность и прямо влияющим на уровень выбросов парниковых газов, является удельный расход условного топлива (УРУТ). В настоящее время энергетической стратегией РФ [7] предусматривается, что средневзвешенный УРУТ на ТЭС снизится к 2035 году до 255,6 г у. т./кВт·ч (то есть примерно на 13 % относительно уровня 2019 года).

Еще одним важным фактором декарбонизации в электроэнергетике является изменение доли возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в структуре производства электроэнергии. В настоящее время правительством обновлен целевой показатель по вкладу ВИЭ-электростанций в суммарное производство электроэнергии: в 2035 году их доля должна вырасти до 6 % [8].

Оценка масштабов низкоуглеродной трансформации структуры генерирующих мощностей в России

Количественная оценка условий достижения существующих целевых показателей развития электроэнергетики, связанных с энергопереходом, была выполнена в ИНЭИ РАН в ходе параметрического моделирования изменений в структуре генерирующих мощностей в ЕЭС России при заданном росте к 2035 году объемов производства электроэнергии до 1305 млрд кВт·ч (на 22 % относительно уровня 2018 года). В результате были оценены объемы обновления действующей и ввода новой генерирующей мощности разных типов электростанций, обеспечивающие достижение к 2035 году различного уровня удельных расходов условного топлива в тепловой генерации или заданной доли ВИЭ в производстве электроэнергии, а также одновременного достижения двух целевых условий для топливной и возобновляемой энергетики.

Сформированный базовый вариант (Б) учитывает при этом развитие ВИЭ-электростанций в объемах действующих программ поддержки (ДГПМ ВИЭ до 2024 и 2035 гг.), а также модернизацию тепловой генерации без технологических прорывов, преимущественно за счет некапиталоемких проектов замены отдельных элементов оборудования ТЭС, а не комплексной замены более энергоэффективным оборудованием. Тем не менее, даже такие технологически консервативные решения вместе с имеющимся потенциалом для оптимизации топливной эффективности существующих

В настоящее время целевые показатели развития электроэнергетики, которые можно соотнести с низкоуглеродными задачами, определены неоднозначно и разрозненно, лишь для некоторых секторов

Показатель	2030 г.				2035 г.			
	Б	Т1	Т2	Т3	Б	Т1	Т2	Т3
Новая и обновляемая мощность ТЭС, ГВт	16,1	26,2	31,9	34,8	41,4	51	70,8	83,3
Модернизируемая мощность ТЭС, ГВт	31,1	31,1	17,6	17,6	31,1	31,1	10,9	5,7
Доля новой и обновляемой мощности в общем объеме мощности ТЭС, %	10,1	16,4	20	21,8	25,3	31,3	43,6	51,3
то же для газомазутных ТЭС	11,3	20,2	20,3	22,3	28	36,5	47	55,6
то же для ТЭС на твердом топливе	7,4	7,4	19,3	20,5	18,6	18,6	34,4	39,6
Средневзвешенный удельный расход топлива на отпуск электроэнергии ТЭС, г у. т./кВт·ч	296	288,7	286,4	284	280,9	274	262,1	255,7
Снижение от 2018 года (310,1 г у. т./кВт·ч)	-14,2	-21,4	-23,7	-26,2	-29,2	-36,1	-48	-54,4

Таблица 1. Сравнение достигаемых показателей энергоэффективности на ТЭС и доли новой и обновляемой мощности в теплоэнергетике в период по 2035 года

ТЭС, в том числе теплофикационных [9], позволяют заметно снизить средний удельный расход топлива с нынешних 300 до 281 г у. т./кВт·ч к 2035 году.

Далее были рассмотрены еще три варианта развития отрасли (Т1-Т3) с разной интенсивностью обновления мощностей ТЭС и, как следствие, динамикой удельного расхода топлива (таблица 1). При этом в варианте Т3 достигается предусмотренное энергетической стратегией значение удельного расхода топлива (255 г у. т./кВт·ч). Данные варианты предполагают поступательный рост масштабов комплексной замены оборудования ТЭС (для газомазутных блоков – с переходом от паросилового к парогазовому циклу с соответствующим ростом

эффективности использования топлива). Подробный анализ изменений в технологической структуре тепловых электростанций по этим вариантам представлен в [10].

Полученная зависимость снижения удельных расходов топлива от масштаба обновления мощностей ТЭС является достаточно четкой (рис. 1); при этом для достижения целевого значения удельных расходов потребуются замена технологически прогрессивным оборудованием более чем 50 % действующих мощностей ТЭС (т. е. значительно больше, чем предусмотрено в рамках действующей программы поддержки проектов модернизации ТЭС «КОМ–МОД»).

Аналогично, были рассмотрены четыре варианта (В1-В4) развития возобнов-

Рис. 1. Зависимость динамики УРУТ ТЭС от масштабов их технологического обновления

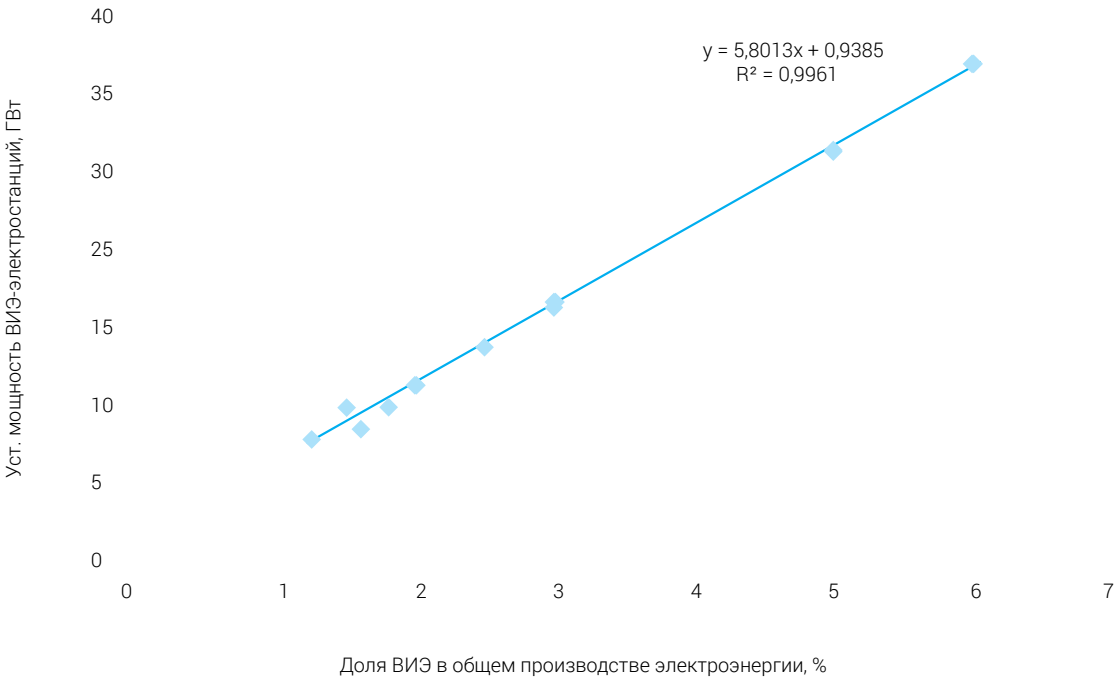
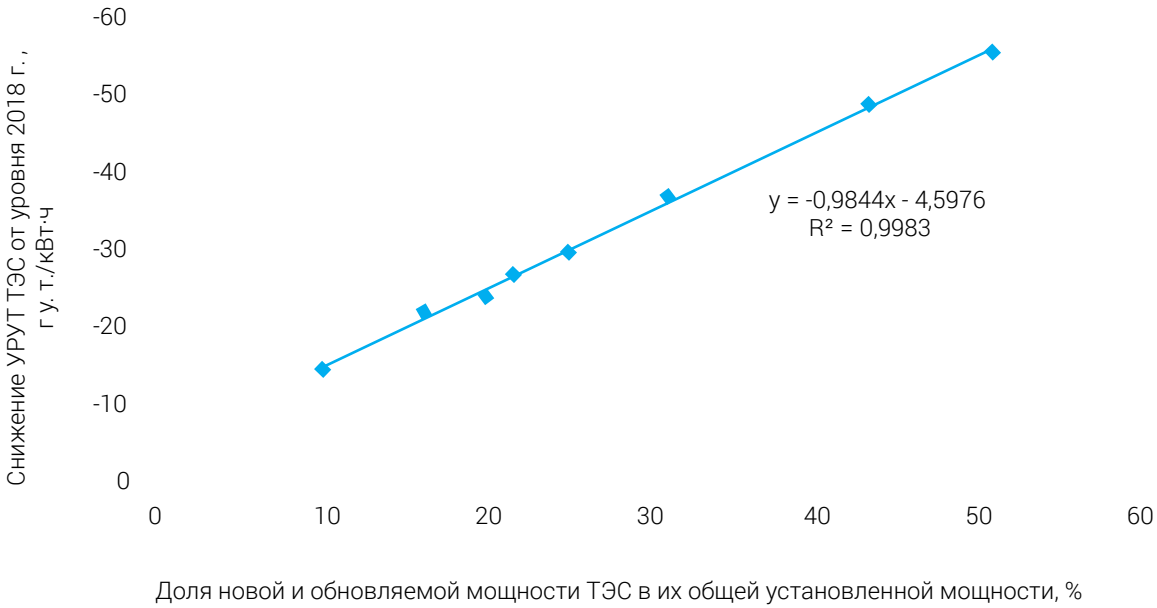


Рис. 2. Зависимость доли ВИЭ в производстве электроэнергии в целом по РФ от ввода их мощности

ляемой энергетики, различающихся долей ВИЭ-электростанций в суммарном объеме производства электроэнергии в России к 2035 году и, соответственно, объемами ввода новых мощностей ветряных и солнечных электростанций (таблица 2). Важно отметить, что из-за небольшого коэффициента использования установленной мощности (КИУМ) ВИЭ-электростанций их доля в структуре генерирующих мощностей оказывается выше, чем в структуре производства электроэнергии.

Если доля возобновляемой энергетики в 2 % выработки электроэнергии (вариант

В1) достижима уже при мощности ВИЭ-электростанций в 25,5 ГВт, то для целевых масштабов ее развития (6 % суммарной выработки, вариант В4) необходимая мощность составляет 36 ГВт. В результате, доля ВИЭ в суммарной установленной мощности электростанций России превысит 12 %. Следствием низкого КИУМ станет и незначительное снижение удельного расхода топлива тепловых электростанций. В целом, зависимость доли ВИЭ в производстве электроэнергии от масштабов ввода таких электростанций также получилась практически линейной (рис. 2).

Таблица 2. Характеристика вариантов развития электроэнергетики с увеличением доли ВИЭ в структуре производства электроэнергии

Показатель	2030 г. Варианты					2035 г. Варианты				
	Б	В1	В2	В3	В4	Б	В1	В2	В3	В4
Установленная мощность ВИЭ-электростанций в ЕЭС России (ГВт) – всего	8,1	9,3	10,9	15,3	18,2	10,9	12,5	18,6	29,7	36
Доля ВИЭ в установленной мощности, %	3,3 %	3,8 %	4,4 %	6,1 %	7,2 %	4,2 %	4,8 %	7 %	10,8 %	12,8 %
Доля ВИЭ в производстве электроэнергии, %	1,2 %	1,6 %	1,8 %	2,5 %	3 %	1,5 %	2 %	3 %	5 %	6 %
Средний УРУТ тепловых электростанций, г у. т./кВт·ч	296	296	295	295	294	281	280	279	278	277

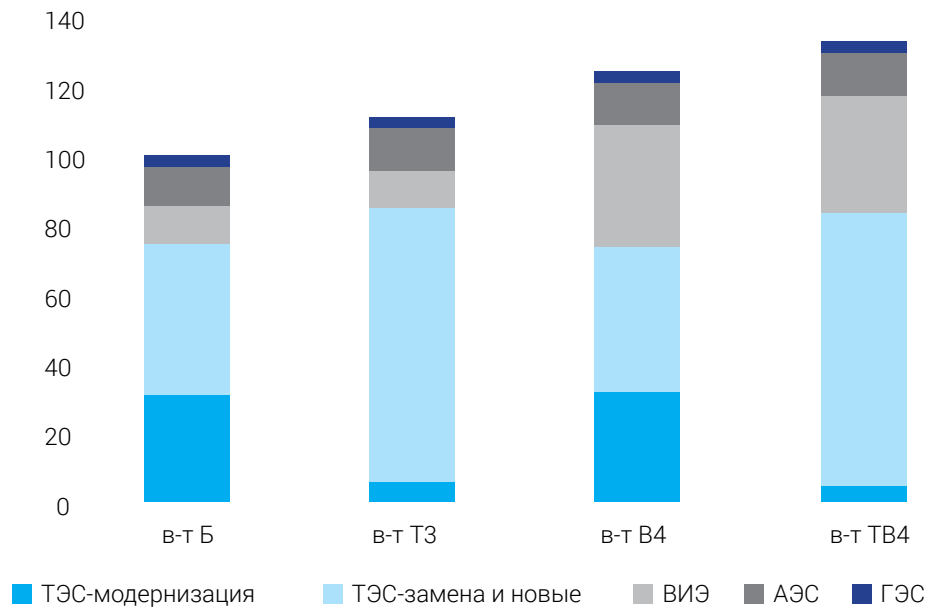


Рис. 3. Динамика и структура вводов и модернизации мощности по типам электростанций за период до 2035 г., ГВт

Анализ ценовых последствий низкоуглеродной трансформации электроэнергетики России

Выполненные результаты параметрического анализа показывают, что для достижения уже утвержденных целевых показателей в электроэнергетике, способствующих снижению эмиссии парниковых газов, необходимо серьезно нарастить интенсивность инвестиционной деятельности. Даже базовый вариант развития электроэнергетики (Б) потребует большого объема ввода новых мощностей – около 100 ГВт к 2035 г. (рис. 3). Из этого объема свыше 70 % приходится на долю ТЭС. Примерно 30 ГВт будет введено по уже утвержденной Правительством РФ программе модернизации ТЭС. Еще свыше 40 ГВт составят объемы замены ТЭС (большей частью – на базе высокоэффективных газотурбинных технологий), а также строи-

тельство новых тепловых электростанций для удовлетворения прироста электропотребления. Вводы мощности новых АЭС и ВИЭ составят, соответственно, 12,5 и 10,6 ГВт. Общий объем инвестиций генерации до 2035 г. достигнет 8,3 трлн рублей (рис. 4). В варианте Т3 меняется структура инвестиционных решений в тепловой генерации – объемы замены и новых вводов ТЭС увеличиваются до 78 ГВт при снижении объемов мелкоузловой модернизации действующих энергоблоков ТЭС до 6 ГВт. Однако ввиду гораздо более высокой капиталоемкости мероприятий по полной замене оборудования ТЭС, объем инвестиций в варианте Т3 вырастет до уровня в 10 трлн рублей (из них 2/3 приходятся на долю тепловой генерации). В варианте В4 структура инвестиционных решений в тепловой генерации соответствует базовому варианту, однако заметно более динамично развивается сегмент ВИЭ. Вводы последних в этом варианте превысят 34 ГВт против 10,6 в ба-

Таблица 3. Характеристика исследуемых стратегий снижения углеродного следа отрасли за счет развития ВИЭ и/или модернизации тепловой генерации

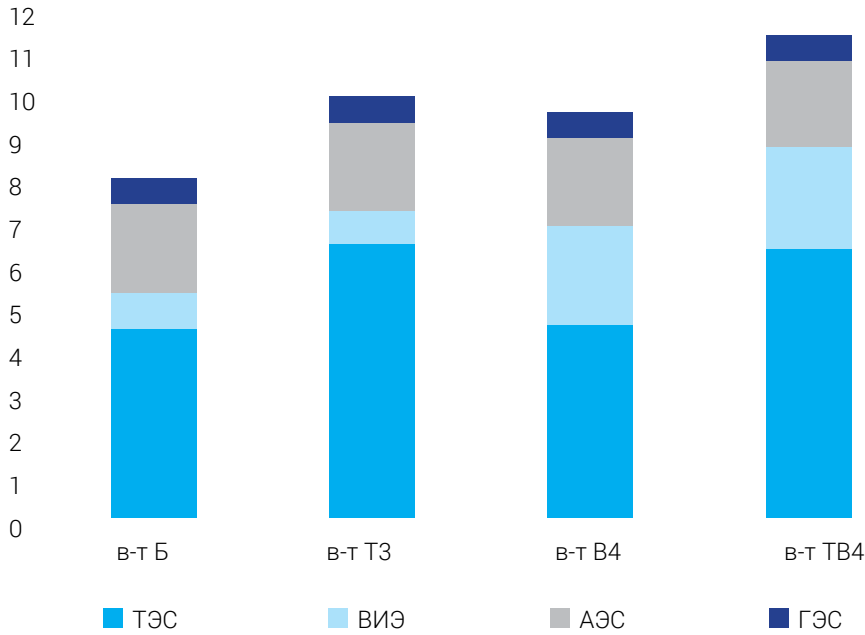
	Вариант			
	Б	Т3	В4	ТВ4
Удельный расход топлива ТЭС в 2035 г., г у. т./кВт·ч	281	255	277	255
Доля ВИЭ в производстве электроэнергии к 2035 г.,%	1,5 %	1,5 %	6 %	6 %

Если доля возобновляемой энергетики в 2 % выработки достижима уже при мощности ВИЭ электростанций в 25,5 ГВт, то для целевых масштабов ее развития необходимая мощность составляет 36 ГВт

зовом. Объем инвестиций в ВИЭ составит 2,4 трлн рублей против 0,8 трлн в базовом, а суммарный объем инвестиций всей генерации вырастет до 9,8 трлн рублей. Для оценки требуемых экономических условий, необходимых для совместного достижения двух целевых показателей (по снижению УРУТ ТЭС и увеличению доли ВИЭ) был рассмотрен также вариант ТВ4 (таблица 3). Эти варианты в совокупности показывают диапазон возможных стратегий по снижению удельной эмиссии CO₂ в электроэнергетике (за счет модернизации ТЭС, развития безуглеродной генерации либо сочетания этих двух путей) и позволяют оценить соответствующие экологические и экономические последствия. В варианте ТВ4 сочетание инвестиционных решений в сфере глубокого обновления тепловой генерации и развития безуглеродных технологий приводит к росту объема вводов мощности до 130 ГВт (почти на треть выше уровня базового варианта), а суммарный объем отраслевых инвестиций достигнет 11,5 трлн рублей. Оценки производственных и инвестиционных параметров развития по отдельным типам электростанций позволяют проанализировать и ценовые последствия разных вариантов технологической перестройки электроэнергетики, определив цену перехода к низкоуглеродной электроэнергии для конечных потребителей. Инструмен-

том такого ценового анализа являются разработанные в ИНЭИ РАН финансово-экономические модели отрасли и ее технологических сегментов (тепловая, атомная и гидрогенерация, ВИЭ, а также сетевой комплекс). Данные модели позволяют определить объемы необходимой валовой выручки (НВВ) каждого из этих сегментов (и отрасли в целом) на базе исходных производственных и инвестиционных показателей их развития и внешних макроэкономических индикаторов. Описание этой системы моделей можно найти в работе [11]. Расчеты показали, что необходимая валовая выручка генерации даже в базовом варианте вырастет примерно на 20 % относительно текущего уровня и достигнет 3,6 трлн рублей в ценах 2019 года (рис. 5).

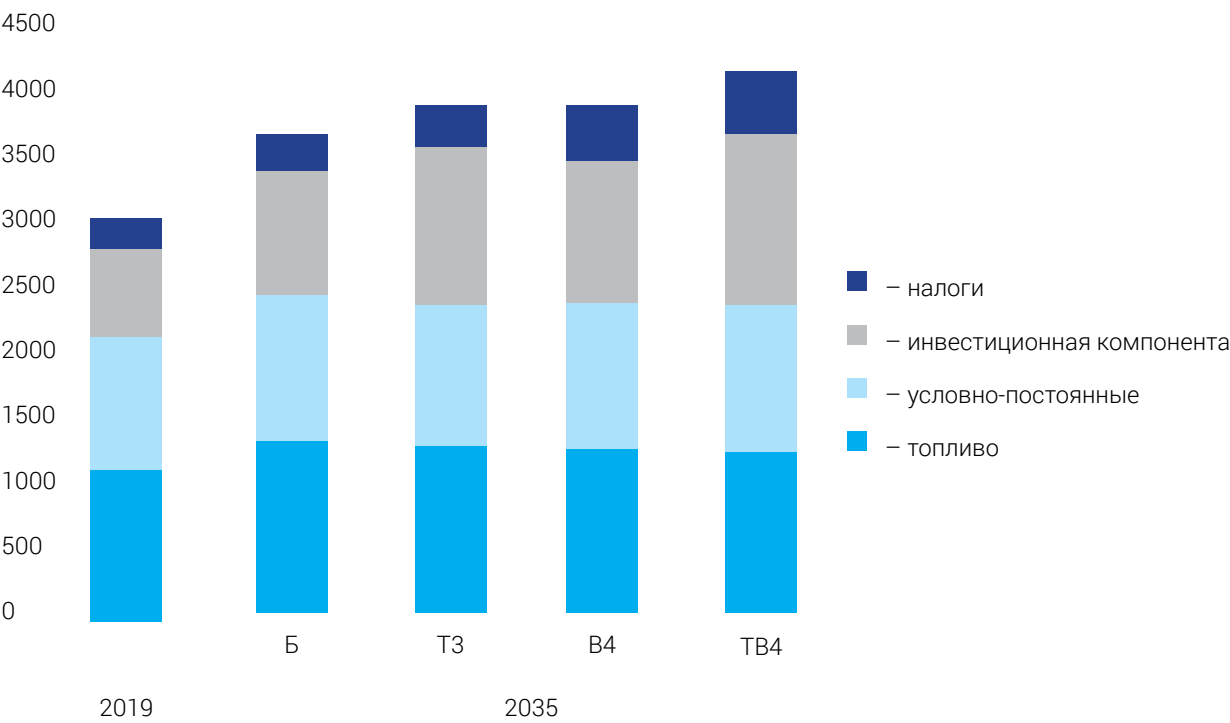
Рис. 4. Динамика и структура инвестиций по типам электростанций за период до 2035 г., трлн рублей в ценах 2019 г.



Даже базовый вариант развития потребует большого объема ввода новых мощностей – около 100 ГВт к 2035 г. Из них 70% придется на ТЭС. Примерно 30 ГВт будет введено по программе модернизации

Этот прирост почти равными долями делится между инвестиционной компонентой и топливными затратами (последние растут за счет увеличения выработки электроэнергии в период с 2020 по 2035 г.). В вариантах Т3 и В4 дополнительный (относительно базового) прирост необходимой выручки относительно уровня 2019 г. составит около 28–29 %, при этом доля топливных затрат в структуре необходимой валовой выручки снизится, а инвестиционных – вырастет. Наконец, вариант ТВ4 приведет к росту необходимой валовой выручки генерации до 4,1 трлн рублей (+35 % к 2019 году).

Рис. 5. Структура необходимой валовой выручки генерации в 2035 г., млрд рублей в ценах 2019 г.



Динамика изменения необходимой выручки отрасли является базой для расчета необходимого уровня цены производства, который можно соотнести с уровнем одноставочной цены электроэнергии (с учетом мощности). Расчетная цена производства должна обеспечить достаточный, но вместе с тем, не избыточный финансовый ресурс для каждого из рассмотренных типов электростанций (с учетом их производственной и инвестиционной программы, а также допустимых объемов привлечения заемного капитала, не приводящих к ухудшению финансовой устойчивости). На рис. 6 представлена цена производства (необходимая оптовая цена) электроэнергии, соответствующая каждому из рассмотренных вариантов изменения структуры генерирующих мощностей, а также достигаемый при этом уровень удельных выбросов CO₂ (оба значения даны в процентах относительно текущего уровня).

Даже в базовом варианте развития отрасли сравнительно некапиталоемкие мероприятия по обновлению действующих станций обеспечивают снижение удельных выбросов CO₂ на 7 % относительно уровня 2018 г. Однако при этом абсолютный объем эмиссии увеличивается на 15 % в сравнении с 2018 годом. Важно подчеркнуть,

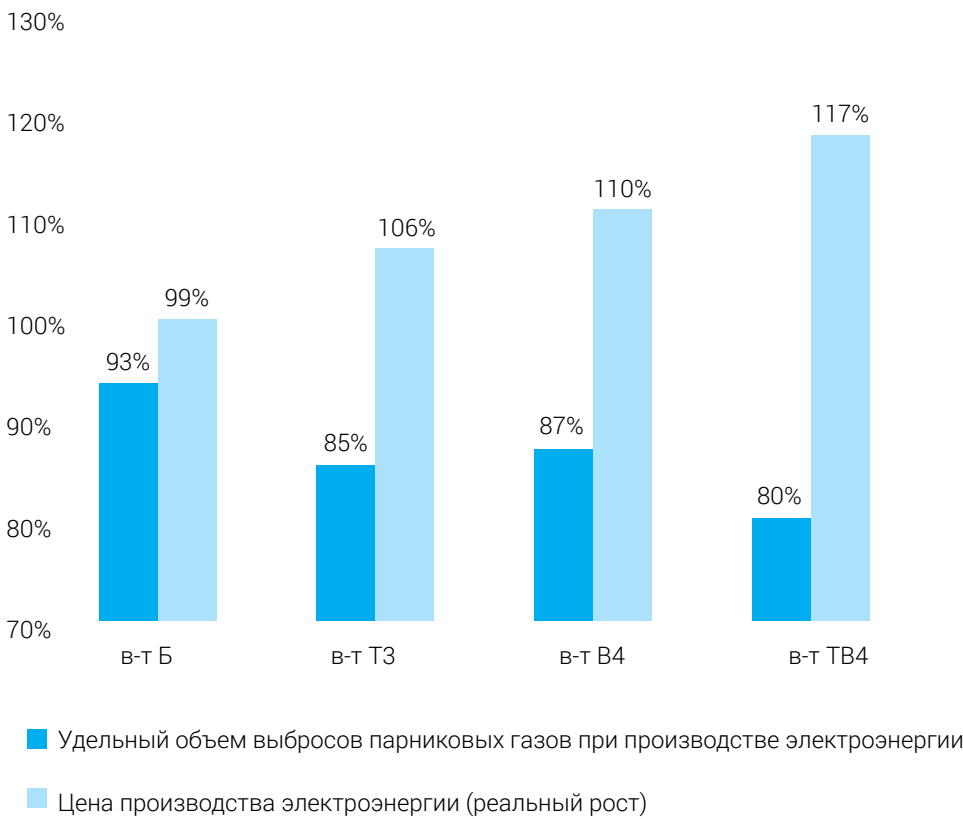


Рис. 6. Цена и углеродная интенсивность производства электроэнергии в 2035 году, в% от отчетного года (2018 г. = 100 %)

что этот вариант является единственным из рассмотренных, позволяющим удерживать рост оптовой цены электроэнергии в пределах инфляции (т. е. нулевой реальный рост).

Варианты Т3 и В4 близки по экологическим последствиям, обеспечивая снижение удельных выбросов CO₂ на 13–15 % относительно уровня 2018 г. При этом абсолютный уровень эмиссии остается выше отчетного на 8–9 %. Реализация этих вариантов потребует увеличения оптовой цены электроэнергии на 6–10 % к 2035 году (в реальном выражении). Вариант ТВ4 обеспечивает наибольшее снижение удельных выбросов CO₂ при производстве электроэнергии (почти на 20 %), но его реализация потребует еще большего роста цены электроэнергии – на 17 % в реальном выражении к 2035 году. Но и в этом случае абсолютный объем эмиссии CO₂ от электростанций лишь приблизится к отчетному (превышение всего на 4 %).

Таким образом, расчеты показывают, что достижение к 2035 году установленных на настоящий момент целевых показателей в части энергоэффективности ТЭС и раз-

вития неуглеродной энергетики позволит лишь стабилизировать уровень выбросов CO₂ в электроэнергетике, но даже этот результат потребует выхода за существующие параметры ценовой политики в отрасли. Это, в свою очередь, подтверждает важность согласования тех или иных целевых показателей в отношении глубины декарбонизации в электроэнергетике, темпов ее перехода на низкоуглеродный путь развития, технологических приоритетов такого перехода с оценкой того, какую пре-

Вводы мощности новых АЭС и ВИЭ в базовом варианте развития составят, соответственно, 12,5 и 10,6 ГВт. Общий объем инвестиций генерации до 2035 г. достигнет 8,3 трлн рублей

дельную цену готова платить экономика в целом и разные группы потребителей в частности за эти изменения.

Заключение

Проведенный анализ показал необходимость комплексного, системного подхода к технико-экономическому обоснованию целевых параметров трансформации структуры генерирующих мощностей, включая все сегменты тепловой, атомной, гидро- и возобновляемой энергетики, которые бы обеспечили развитие электроэнергетики, согласованное с долгосрочными национальными целями реализации климатической повестки. Эта задача может быть решена при актуализации генеральной схемы размещения объектов электроэнергетики и энергетической стратегии, где развитие отрасли должно быть согласовано с приоритетами низкоуглеродной перестройки всего топливно-энергетического баланса страны и регионов.

Реализация уже принятых решений по повышению энергоэффективности ТЭС и развитию возобновляемой энергетики позволяет добиться к 2035 году заметного (на 20 %) снижения удельной эмиссии CO₂ от электростанций за счет замены оборудования на более чем половине мощностей

ТЭС и быстрого роста ВИЭ-электростанций до 12 % от установленной мощности в ЕЭС России. Однако соответствующий рост капиталовложений не будет в полной мере компенсироваться экономией топливных затрат, что в итоге будет оказывать серьезное влияние на рост цены производства электроэнергии (необходимой оптовой цены с учетом мощности), которая к 2035 году может увеличиться на 17 % в реальном выражении (сверх инфляции) даже при сохранении прежней политики сдерживания цен газа.

Полученные авторами предварительные оценки для еще более амбициозных сценариев сдерживания эмиссии CO₂ в электроэнергетике показывают устойчивый рост необходимых для их реализации цен электроэнергии, даже с учетом более активного вовлечения атомной и гидрогенерации. Ценовые последствия для потребителей, растущие инвестиционные потребности отрасли и ее меняющаяся роль на внутренних рынках газа и угля – все эти межотраслевые эффекты от технологической перестройки в электроэнергетике требуют глубокой и комплексной количественной оценки макроэкономических последствий при выборе наилучших стратегических решений в рамках национальных планов по декарбонизации экономики.

ЛЭП

Источник: kvartal036.ru



Благовещенская ТЭЦ

Источник: go64.ru

Использованные источники

1. Climate Watch Net-Zero Tracker. 2020. Washington, DC: World Resources Institute. [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.climatewatchdata.org/net-zero-tracker>
2. Global trends in renewable energy investment, 2019. United Nations Environment Programme; Frankfurt School-UNEP Centre (2019). – URL: <https://wedocs.unep.org/20.500.11822/29752>
3. Порфирьев Б.Н., Широков А.А., Колпаков А.Ю. Стратегия низкоуглеродного развития: перспективы для экономики России // Мировая экономика и международные отношения. № 9, 2020. С. 15–25.
4. Koutsandreas D., Spiliotis E., Doukas H., Psarras J. What Is the Macroeconomic Impact of Higher Decarbonization Speeds? The Case of Greece // Energies. 2021. Vol. 14. P. 2235. DOI: <https://doi.org/10.3390/en14082235>
5. Veselov F., Pankrushina T., Khorshev A. Comparative economic analysis of technological priorities for low-carbon transformation of electric power industry in Russia and the EU // Energy Policy. 2021. Vol. 156. P. 112409. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2021.112409>
6. Адамов Е.О., Толстоухов Д.А., Панов С.А., Веселов Ф.В., Хоршев А.А., Соляник А.И. Роль АЭС в электроэнергетике России с учетом ограничений выбросов углерода // Атомная энергия. № 3, 2021. С. 123–131.
7. Энергетическая стратегия РФ на период до 2035 года. Утв. распоряжением Правительства РФ от 09.06.2020 г. № 1523-п. – URL: <https://minenergo.gov.ru/node/18038>
8. Основные направления государственной политики в сфере повышения энергетической эффективности электроэнергетики на основе использования возобновляемых источников энергии на период до 2035 года; утв. распоряжением Правительства РФ от 8 января 2009 г. №1-р с изм. 24 октября 2020 года.
9. Золотова И.Ю., Карле В.А., Осокин Н.А. Влияние экзогенных факторов на эффективность деятельности тепловых электростанций // Стратегические решения и риск-менеджмент. Т. 10. № 1, 2019. С. 174–181. DOI: <https://doi.org/10.17747/2618-947X-2019-2-174-181>.
10. Веселов Ф.В., Ерохина И.В., Макарова А.С., Соляник А.И., Урванцева Л.В. Энергоэкономическая оценка стратегий повышения энергетической эффективности теплоэнергетики России // Теплоэнергетика. №21, 2021. С. 1–13.
11. Веселов Ф.В., Соляник А.И. Методический подход к моделированию параметров и последствий ценовой политики государства в электроэнергетике / в кн. Управление развитием крупномасштабных систем (Современные проблемы. Выпуск 3) / под науч. ред. А.Д. Цвиркуна // М.: Физматлит, 2018. С. 59–100.

Климат и энергопереход: взаимодействие и взаимозависимость

Climate and energy transition: interaction and interdependence

Виталий БУШУЕВ
Главный научный сотрудник ОИВТ РАН,
д. т. н., генеральный директор ГУ ИЭС
e-mail: vital@guies.ru

Vitalii BUSHYEV
JIHT RAS, GU IES (Moscow, Russia),
Doctor of Technical Sciences
e-mail: vital@guies.ru

Дмитрий СОЛОВЬЕВ
Старший научный сотрудник ОИВТ РАН,
Институт океанологии РАН, к. ф.-м. н.
e-mail: solovev@guies.ru

Dmitry SOLOVYEV
JIHT RAS, Institute of Oceanology RAS (Moscow, Russia),
Candidate of Physical and Mathematical Sciences
e-mail: solovev@guies.ru

Количество климатических аномалий неизменно растёт

Источник: miss-hohotyn007.livejournal.com



Аннотация. В статье рассмотрены вопросы развития энергетической инфраструктуры на фоне наблюдаемых в настоящее время и прогнозируемых в будущем аномальных климатических изменений. Рассматриваются два взаимовлияющих аспекта этой проблемы: прогноз климатической динамики и ее влияние на «зеленую» отрасль энергетики, выступающей в качестве основного драйвера энергоперехода. На основе методов нейросетевого прогнозирования исследована временная взаимосвязь между ростом аномалий глобальной температуры, концентрации углекислого газа в атмосфере и уровнем потребления первичной энергии, которая показывает, что наблюдаемые высокие темпы роста концентрации CO₂ могут определяться не только антропогенным воздействием, но и возможно другими, неэнергетическими факторами. Дана оценка рисков инвестиций в «зеленую» энергетику в условиях новых климатических вызовов, которые могут стать препятствием на пути декарбонизации энергетической отрасли.

Ключевые слова: энергетика, климат, энергопереход, ВИЭ, инвестиции, климатические вызовы.

Abstract. The article discusses the issues of the development of energy infrastructure against the background of the emervious climatic changes that are currently monitored and projected in the future. Two mutrating aspects of this problem were investigated: the climatic dynamics forecast and its influence on the «green» industry of energy serving as the main drive driver. Based on the methods of neural network forecasting, the temporary relationship between the growth of the global temperature anomalies, the concentration of carbon dioxide in the atmosphere and the level of primary energy consumption, which shows that the observed high growth rates of CO₂ concentration can be determined not only by anthropogenic effects, but also by other, non-energy factors. An assessment of the risks of investment in Green Energy in conditions under conditions of new climate challenges, which can be an obstacle to the decarbonization of the energy industry. *Keywords: power engineering, climate, energy transition, renewable, investment, climatic challenges.*

//

**Глобальное потепление
влияет на весь мир,
в том числе на общество.
С ним связаны проблемы
обеспечения водой,
продовольствием
и энергией**

Введение

Среди основных драйверов в сфере государственной политики и развития новых технологий, в первую очередь, можно выделить стремление развитых стран к декарбонизации мировой экономики и их желание снизить свою зависимость от поставок энергоресурсов из-за рубежа [1].

Текущая динамика развития энергетического рынка меняет структуру потребления, смещая акценты от углеводородов к возобновляемой энергетике. Пандемийный 2020 год стал переломным на пути трансформации сознания энергопотребителей. Именно в период кризиса тренд на переход от ископаемых энергоресурсов в пользу ВИЭ приобрел устойчивость. Изменения в мировом энергобалансе будут продолжаться еще долгие годы. Они инициированы стратегическими планами реализации климатической программы Евросоюза, предложенные меры которой призваны сократить выбросы во всех сегментах европейской экономики, включая производство электроэнергии, автомобильный и жилищный сектора, а также судоходство, авиацию и сельское хозяйство. Целью этой программы по борьбе с изменением климата является сокращение к 2030 году выбросов CO₂ в Европейском союзе не менее чем на 55 % по сравнению с уровнями 1990-х гг. и до нулевого уровня к 2050 году. Это потребует полной перестройки энер-

Драйверы ЭНЕРГОПЕРЕХОДА

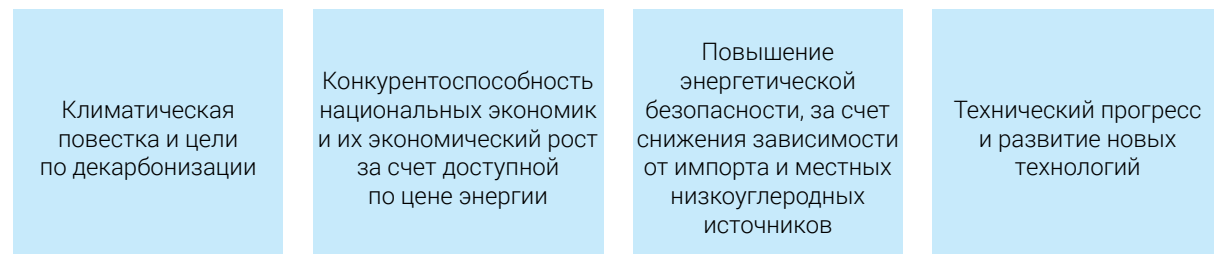


Рис. 1. Основные драйверы энергоперехода

гетики и экономики Евросоюза. Рассматривая вопросы развития энергетической инфраструктуры на фоне наблюдаемых в настоящее время аномальных климатических изменений следует подробнее остановиться на двух взаимовлияющих аспектах этой проблемы: прогнозу климатической динамики и ее влияние на «зеленую» отрасль энергетики, выступающей в качестве основы энергоперехода и политики декарбонизации.

Климатические и природные аномалии как концептуальный фактор энергоперехода

Одним из важнейших природных факторов динамического развития нашей энергетической цивилизации является глобальный климатический режим, определяемый кривыми температурных колебаний [2]. Для оценки многолетних колебаний температуры рассчитываются температурные аномалии, которые представляют собой отклонение от средней или базовой температуры. Положительные аномалии показывают, что наблюдаемая температура была выше базовой линии, тогда как отрицательная аномалия указывает на то, что наблюдаемая температура была ниже базовой. Начиная с 80-х годов прошлого века, отклонение годовой температуры от средних значений для XX века было неизменно положительным. Температурные аномалии обычно более важны при изучении изменения климата, чем абсолютная температура. Это связано с тем, что при вычислении средних абсолютных температур такие факторы, как местоположение станции и высота над уровнем моря, могут

иметь решающее влияние на абсолютные температуры, но менее значимы при расчетах аномалий.

Изменение климата влияет на весь мир, в том числе на общество. С глобальным потеплением связаны проблемы обеспечения населения водой, продовольствием и энергией, проблемы здравоохранения, политические проблемы.

В связи с этим, для предотвращения возможных негативных последствий климатических изменений мировым сообществом в рамках определения целевых показателей Парижского соглашения по климату, ставилась задача удержать рост глобальной средней температуры намного ниже 2 °C и приложить усилия для ограничения роста температуры величиной 1,5 °C. В Парижском соглашении под глобальной средней температурой поверхности Земли (показана на рис. 2) понимается изменение среднемесячной температуры относительно периода 1850–1900 годов (°C). [3]

Согласно оценкам Института географии РАН зимой для Северного полушария тренды приземной температуры воздуха с учетом роста содержания парниковых

Только 30% современного роста температуры можно объяснить повышением содержания в атмосфере CO₂, метана, аэрозолей. То есть человек вносит значительный, но не основной вклад в потепление

Есть природные причины изменений концентрации CO₂: выделение его океанами и грунтами при нагревании, при дыхании живых организмов, при лесных пожарах, засухах, извержении вулканов и т. д.

газов и аэрозолей выше в среднем на 0,3 °C (летом примерно на 0,2 °C), чем в случае отсутствия такого роста [4]. При этом величина тренда составляет около 1 °C, то есть только примерно 30 % современного роста температуры можно объяснить повышением содержания в атмосфере углекислого газа, метана, аэрозолей. Такие выводы доказывают, что человек вносит вклад в изменение климата, причем значительный, но не определяющий. Это подтверждается результатами нашего нейронного прогноза.

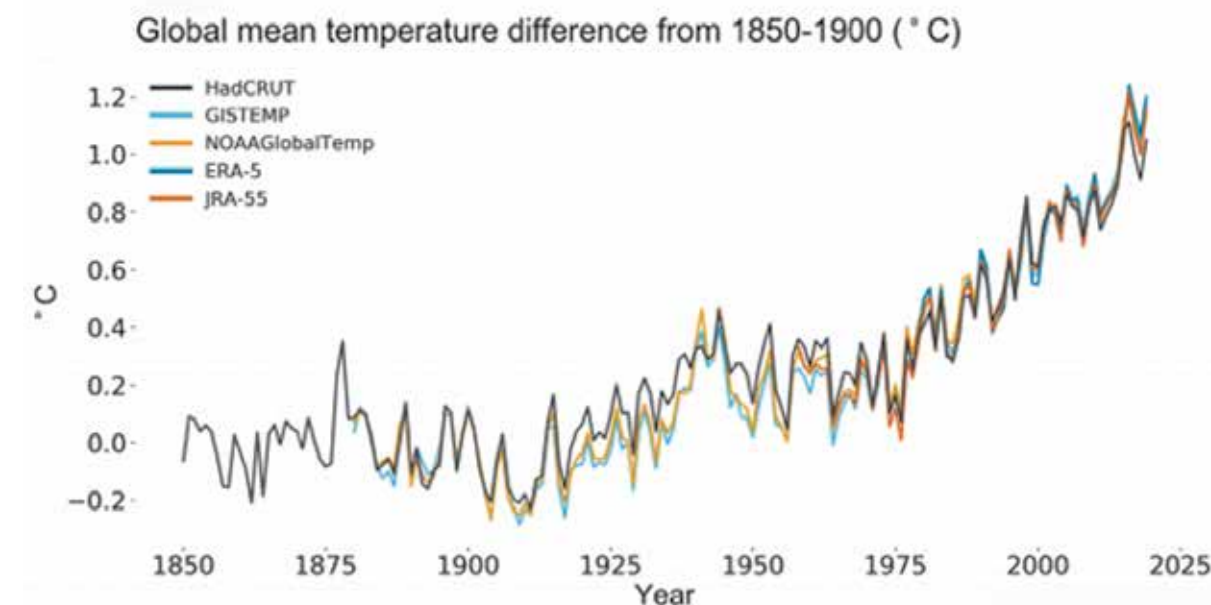
Для моделирования межгодового хода базовых климатических характеристик (в т. ч. аномалии температуры и темпы ро-

ста концентрации в атмосфере углекислого газа), были использованы искусственные нейронные сети (НС) – математические модели, позволяющие реализовать некоторые принципы искусственного интеллекта. Принцип работы искусственных нейронных сетей подобен принципу обработки сигналов в нейронах живых существ. Для прогнозирования аномалии осредненной температуры воздуха для Арктического региона был реализован нейросетевой алгоритм в программной среде STATISTICA Automated Neural Networks (Автоматизированные нейронные сети) на основе многослойной архитектуры нейронной сети с обратным распространением ошибки. Ряд значений моделируемого параметра был разделен на обучающую, тестирующую (тестовую) и контрольную выборки. На обучающей выборке проводилось обучение модели, на тестовой – проверка результата моделирования. На заключительном этапе экспертным путем отбиралась наилучшая из нескольких конструкций НС, выбранных программой на основе условия максимума обучения, описанного в работе.

На рис. 3 представлен нейронный прогноз изменения температурных аномалий (базовый период: 1979–2000 гг.) в глобальном масштабе Т (90°S – 90°N, 0°E – 360°E)

Рис. 2. Прогноз изменения глобальной средней температуры поверхности Земли (°C) по данным различных источников мониторинга.

Источник:
URL: <https://www.un.org/ru/sections/issues-depth/climate-change/index.html>



и темпов роста глобальной концентрации CO_2 в атмосфере за период 1986–2036 гг. Фактические данные для построения прогноза изменения температурных аномалий включали в себя актуальные месячные данные аномалий T и темпов роста глобальной концентрации CO_2 , получены из архива реанализа NCEP/NCAR Reanalysis VI и архива статистических данных Our World in Data (OWID) of University of Oxford.

Из представленного на рис. 2 прогноза видно, что с 1986 года одновременно с наблюдаемым ростом аномалий глобальной приземной температуры воздуха, измерения, которые проводятся специалистами в разных странах, показывают такое же быстрое увеличение (примерно на треть) содержания в атмосфере углекислого газа (CO_2) – наиболее долго сохраняющегося

кислого газа. Это можно объяснить тем, что есть и природные причины изменений концентрации углекислого газа в атмосфере: выделение его океанами и грунтами при нагревании и поглощение при охлаждении, выбрасывание вулканами, поглощение при фотосинтезе растениями и некоторыми бактериями, выделение при дыхании живых организмов, при лесных пожарах, засухах, наводнениях и т. д.

Из естественных причин наибольший вклад вносит Мировой океан. Теплая вода не может содержать в растворенном виде столько же углекислого газа, сколько холодная, поэтому при нагревании она отдает в атмосферу часть CO_2 . В доиндустриальные времена отмечались похожие на современные концентрации углекислого газа в атмосфере. Около 450 млн лет назад кон-

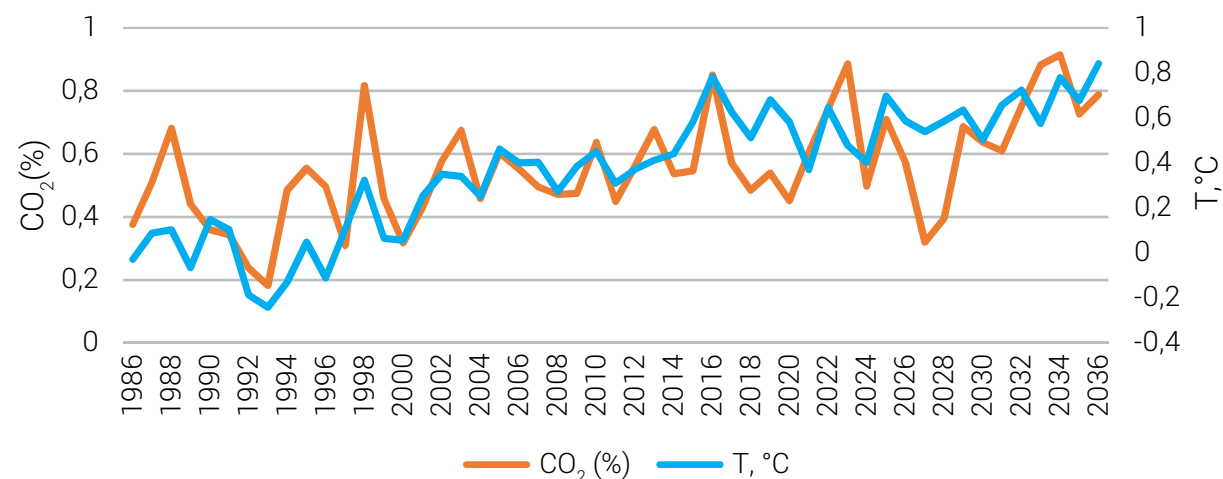


Рис. 3. Прогноз изменения концентрации CO_2 и аномалий глобальной температуры T ($^{\circ}\text{C}$) за период 1986–2036 гг.

Источники: нейронный прогноз на основе данных статистики реанализа NCEP/NCAR Reanalysis VI (ClimateReanalyzer.org) и OWID (ourworldindata.org).

в воздухе по сравнению с другими парниковыми газами. В наше время в атмосфере растет концентрация углерода, в том числе и того, который ранее входил в состав горючих полезных ископаемых, то есть в воздухе добавляется углекислый газ не только за счет естественных природных процессов, но и от сжигания топлива в процессе антропогенной деятельности. Графики изменений концентрации CO_2 и аномалий температуры T практически повторяют друг друга. Эта корреляция сама по себе не является доказательством того, что причиной потепления является увеличение содержания в атмосфере угле-

кислого газа в атмосфере была более чем на порядок выше, чем сейчас, но при этом наблюдались признаки некоторого оледенения. В настоящее время скорость увеличения содержания CO_2 в воздухе составляет примерно 0,5 % в год и колеблется в соответствии с экономической активностью. Так, кризис 2008 года достаточно хорошо отображен на рис. 3 в виде замедления прироста содержания углекислого газа после 1998 года. Около 3/4 всего антропогенного увеличения содержания углекислого газа в воздухе объясняется сжиганием ископаемых углеводородов и вырубкой лесов, а 1/4 –

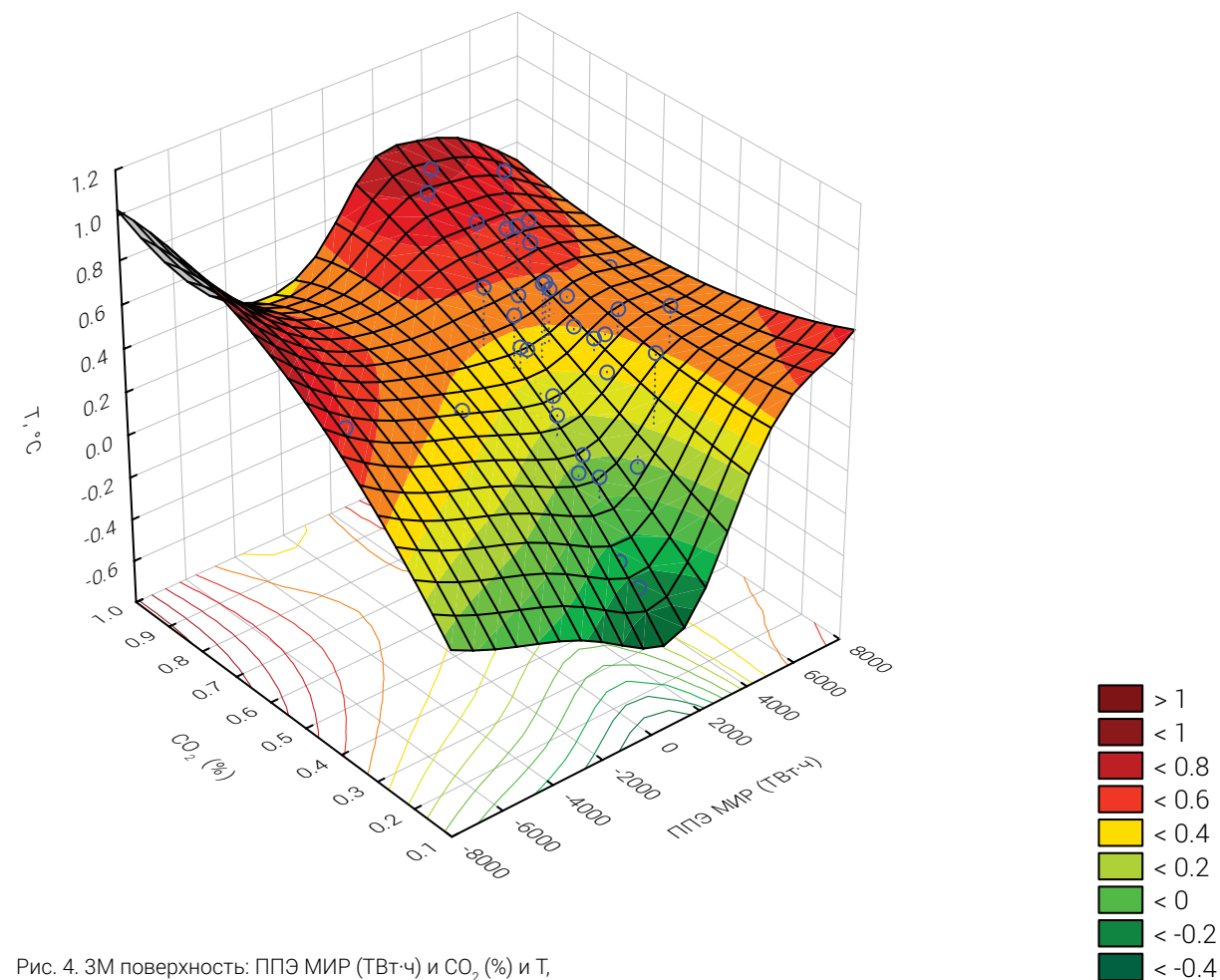


Рис. 4. 3М поверхность: ППЭ МИР (ТВт·ч) и CO_2 (%) и T , $^{\circ}\text{C}$, отражающая уровень корреляции между уровнями изменения концентрации CO_2 и аномалий температуры T и уровнем ППЭ за период 1986–2036 гг.

приходится на различные промышленные технологические циклы, связанные с производством цемента и пластика, окислением монооксида углерода, разведением сельскохозяйственных животных, а также интенсивным загрязнением окружающей среды пластиковыми отходами. Большая часть остального роста содержания CO_2 связана с циклическими природными процессами, включая исторические периоды потепления климата, уничтожение растительности за счет стихийных бедствий (пожары, наводнения, засухи), извержения вулканов, жизнедеятельности организмов и растений, в том числе разложения различных органических элементов. При этом около половины выделяемого при человеческой деятельности CO_2 остается в атмосфере и не поглощается растениями и океанами. Насколько современное увеличение содержания CO_2 в атмосфере может

быть связано со сжиганием ископаемого топлива? В настоящее время ежегодно в различных промышленных технологиях выделяется около 7 млрд т углерода, что составляет приблизительно 1 % общего содержания CO_2 в атмосфере. Наблюдаемый сегодня рост концентрации CO_2 включает в себя около 30 % антропогенной эмиссии. Однако, интенсивность глобальной биохимической регенерации CO_2 составляет около 165 млрд т углерода/год, что в 23,5 раза больше интенсивности антропогенных выбросов. Таким образом, антропогенные выбросы CO_2 составляют только 4–5 % от всей его эмиссии с поверхности суши и океана.

Долгосрочный анализ ретроспективы и прогноз до 2036 г. показывает, что антропогенные выбросы от сжигания топлива будут составлять всего 8–10 % от общего объема выбросов. Таким образом даже



Добыча лития в Африке
Источник: russiancouncil.ru

нагревание приземного воздуха, внося охлаждающий эффект за счет усиления вертикальной циркуляции в атмосфере и более быстрого рассеивания энергии в космосе.

Анализ выполненного нейронного прогноза темпов роста концентрации CO_2 в атмосфере, а также роста аномалий глобальной T показывает, что они слабо коррелированы с колебаниями потребления первичной энергии (ППЭ МИР) (рис. 4). При этом коэффициент корреляции между временными рядами CO_2 , T , и ППЭ МИР составил 0,3 и 0,2, соответственно. В то же время имеет место хорошая корреляция между кривыми концентрации CO_2 и аномалий глобальной T , коэффициент которой равен 0,65. Поэтому, можно сделать

предположение, что глобальное потепление может быть связано, в том числе с увеличением концентрации CO_2 в атмосфере Земли, которое в свою очередь определяется и другими, неэнергетическими (не антропогенными) факторами. К ним обычно относят частоту повторяемости стихийных бедствий (пожары, наводнения и засухи), приводящих к росту концентрации CO_2 и возможно другие природно-космические процессы [5].

Стихийные бедствия и климатические аномалии, безусловно, могут стать серьезным препятствием для развития возобновляемой энергетики и оказывать негативное влияние на инвестиционный климат в этой сфере. Это подтверждает статистика роста количества зарегистрированных стихийных бедствий по типам и общего количества зарегистрированных опасных природных явлений, представленная на рис. 5 (а, б, в). На рис. 5 (г) показано общее число зарегистрированных в мире стихийных бедствий в любой данный год, которое включает в себя последствия засух, наводнений, экстремальных погодных условий, экстремальных температур, оползней, селей, лесных пожаров и вулканической активности.

Цена энергоперехода: риски инвестиций и климатические вызовы для ВИЭ

По данным Bloomberg, грядущий переход на возобновляемые источники энергии потребует до 173 трлн долларов инвестиций в течение 30 лет в новую энергетическую инфраструктуру, а также добычу металлов и другого сырья, необходимого для «зеленой» энергетики. Это огромные деньги и потенциально огромные прибыли, которые отразятся на богатых литием месторождениях в Чили и на заводах по производству поликремния в Китае. В этой связи для инвесторов представляет интерес потенциал роста цен на цветные и редкоземельные металлы, которые будут нужны для «зеленой» энергетики. В современных аккумуляторах, которые являются важным элементом энергетического оборудования ВИЭ и «умных» сетей, используется литий. Потребность в этом металле постоянно растет. По оценкам Statista, к 2030 году глобальный спрос на него вырастет в три раза, до уровня 1,8 млн тонн эквивалента карбо-

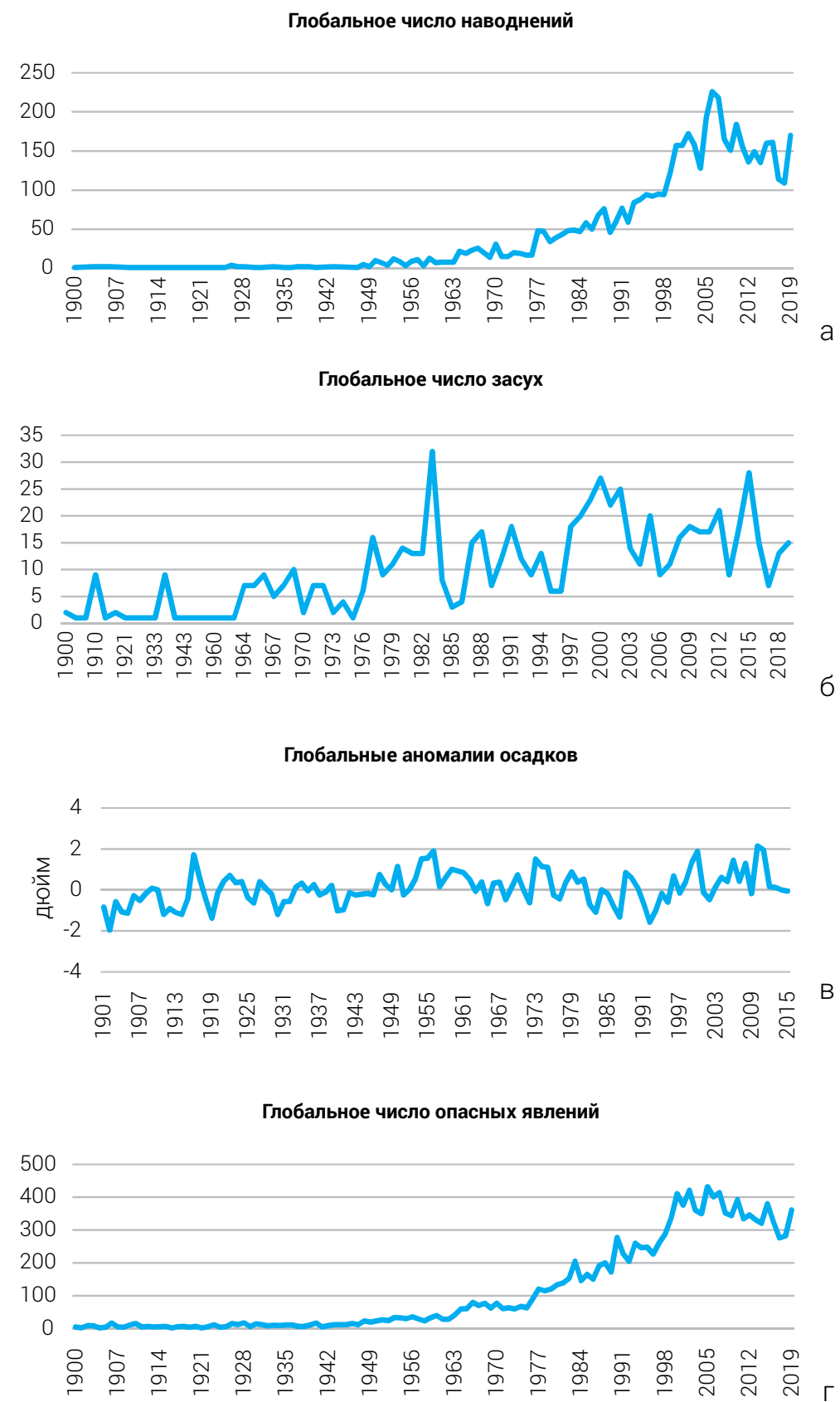
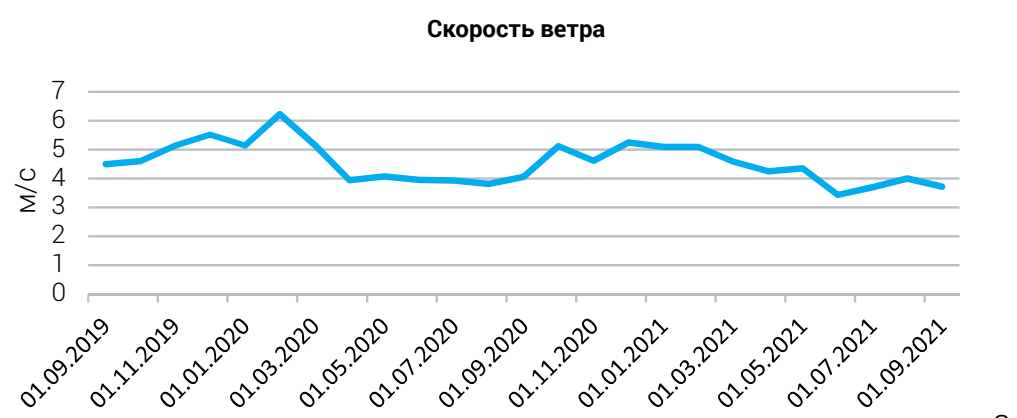
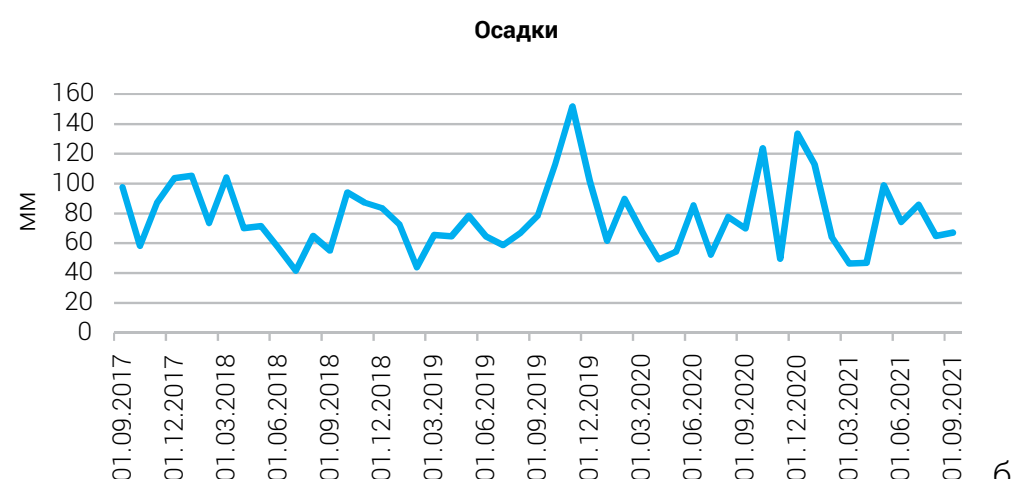


Рис. 5. Число аномальных наводнений (а), засух (б), уровень осадков (в) и общее количество опасных природных явлений (г)

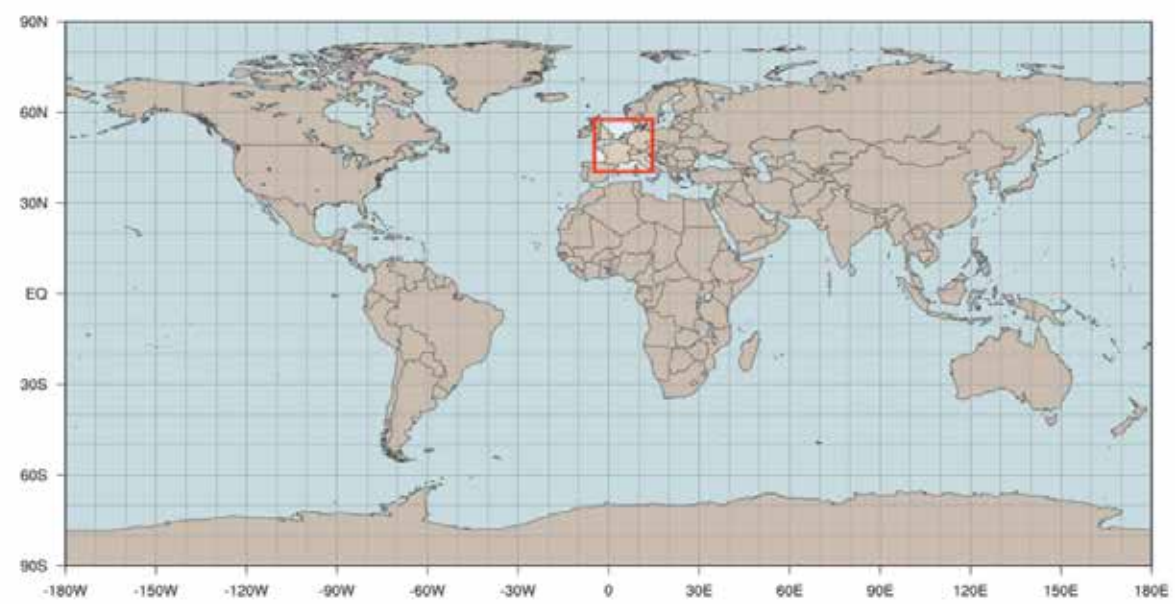
Источник:
URL: public.emdat.be/data



а



б



в

Рис. 6. Средняя скорость ветра (м/с) на высоте 10 м от поверхности Земли (а) и сумма месячных осадков (мм) (б) в регионе Западной Европы (40°N – 58°N, 5°W – 15°E) (в)

Источник:
URL: [ClimateReanalyzer.org](https://climate.reanalyzer.org/)

ната лития. Причем это будет происходить на фоне значительного роста мировых цен на литий. Вслед за литием вырастут цены и на кобальт и медь, которые тоже нужны для аккумуляторов. При этом медь также широко применяется в производстве различного электрооборудования ВИЭ, в частности ветряных генераторов и солнечных панелей. В настоящее время добыча лития сосредоточена всего в нескольких странах. Больше половины мировых запасов лития приходится на Аргентину, Боливию и Чили. Из-за пандемии сформировался огромный отложенный спрос на литий и другие редкоземельные металлы. Присутствует определенный фактор волатильности, который вполне может привести к снижению котировок. Но долгосрочный тренд никто не отменял, и потребность промышленности в этих редкоземельных металлах, конечно, будет постепенно нарастать.

Текущий год показал, что традиционные источники энергии еще могут взять реванш. Для этого есть несколько серьезных оснований, которые определяются, в том числе и рассмотренными выше прогнозами ожидаемых обострений в сфере климатических и природных аномалий. Минувшей зимой, например, в США штат Техас накрыли сильные морозы, и многие объекты «зеленой» энергетики просто не выдержали низких температур. Или другой пример: в Европе летом этого года стоял штиль. На рис. 6 (а) показана динамика изменения средней скорости ветра на высоте 10 м от поверхности Земли в регионе Западной Европы (см. рис. 6 (в)). С начала 2021 года наблюдается устойчивая тенденция снижения интенсивности средней скорости ветра на всей территории Евросоюза, минимум которой пришелся на июнь-июль 2021 года. Ветряные станции вырабатывали мало электричества, приходилось использовать газ и не только: даже уголь, казалось бы, самый грязный вид ископаемого топлива, снова пошел в ход. А осенью дефицит газа на спотовом рынке Европы привел к резкому скачку цен на него. И, соответственно, электричество тоже заметно подорожало. Одновременно, выяснилось, что производители солнечных батарей не могут серьезно нарастить их выпуск: не хватает сырья, в том числе поликремния, цены на который минувшим летом подскочили на 20 %.

Что касается аномально безветренной погоды, то она в первую очередь сказалась на работе ветроэнергетических станций

ЕС, размещенных в Северном море у побережья Великобритании, которые резко снизили выработку электроэнергии [6]–[8]. В меньшей степени падение выработки электричества было зафиксировано для ВЭС, расположенных на суше. В целом во втором квартале 2021 года ВЭС Евросоюза произвели на 22 % меньше энергии, чем годом ранее, несмотря на возведение сотен новых ветряных турбин. По данным аналитиков компании ICIS Energy, в настоящее время генераторы, установленные в Германии, обеспечивают в среднем 5 гигаватт в день, тогда как предыдущие годы этот показатель превышал в день 10 гигаватт. Энергетики и климатологи говорят об установившейся аномально безветренной погоде: полностью исчезают прежде постоянно дующие с моря ветра.

Такой природный феномен, связанный с отсутствием сильного ветра, уникален и наблюдается впервые за последние 22 года. От полного краха ветряную энергетику спасают временами набегające штормовые фронты, но и они длятся лишь по несколько дней. Таким образом, средняя скорость вращения ветряных турбин в ЕС снизилась до минимальных показателей за все время их существования. Такая аномалия связана с тем, что в разных местах планеты ее поверхность нагрета по-разному, поэтому воздух имеет разную температуру. А его температура связана с давлением и плотностью. Неоднородность нагрева порождает ветер. Наблюдаемое сейчас глобальное потепление, особенно в полярных областях, способствует общему снижению градиента атмосферного давления и температур, что влечет за собой ослабление ветровых потоков вдоль поверхности Земли. Для потребителей электроэнергии в ЕС ослабление ветров означает дополнительные траты из-за нового скачка цен на «зеленое» электричество и рост цен на углеводородные источники электрогенерации.

В предстоящий зимний период в ЕС также возможен рост числа осадков, который безусловно, отразится на работе солнечных электростанций, которые могут снизить выработку электроэнергии из-за уменьшения количества солнечных дней в году. На рис. 6(б) показан график суммы месячных осадков в регионе Западной Европы (см. рис. 6(в)) за последние 5 лет. Видно, что с середины 2019 года наблюдается тенденция к увеличению их интенсивности, особенно характерная для осенне-зимнего

периода 2019 и 2020 года. Глобальное потепление по-разному повлияет на выработку солнечных электростанций в разных частях мира. Изменение погодных условий может привести к увеличению поступления солнечной энергии в одних регионах из-за меньшего количества пасмурных дней, в то время как в других выработка может снизиться из-за увеличения облачности. Это объясняется тем, что глобальное потепление не только способствует снижению интенсивности ветровой циркуляции, но и приводит к росту числа осадков.

Начиная с 2017 года по данным NASA фиксируется резкое сокращение высотных облаков над тропическими лесами [9]. Эти облака задерживают в атмосфере тепло, но из-за глобального потепления таких облаков становится меньше. В результате в тропиках становится прохладнее, и, как следствие, там чаще идут дожди. Облака

Ветрогенераторы Energy Wind
Источник: pxhere.com



над тропическими лесами, в свою очередь, исчезают из глобальных сдвигов воздушных потоков, которые меняются из-за потепления. Вода превращается в водяной пар, который поднимается в атмосферу за счет тепла, которое в нем содержится. Но когда пар достигает холодных верхних слоев атмосферы, он конденсируется в жидкие капли или частицы льда, высвобождая тепло и нагревая атмосферу. Таким образом, по мере нагревания планеты количество осадков будет увеличиваться. Высотная облачность оказывает существенное воздействие на погоду и климат. Кристаллики, из которых состоят такие облака, способны ориентироваться в горизонтальной плоскости, параллельно земной поверхности. В результате на высотах 8–12 км образуется слой мельчайших плоских зеркал – их образуют плоские грани кристаллов. В дневное время эти зеркала отражают солнечную радиацию, и она возвращает некоторую часть энергии обратно в космос. Соответственно, до земной поверхности доходит меньше тепла. В ночное время, при отсутствии облаков нижнего яруса, тепловое излучение земной поверхности отражается перистыми облаками и теперь, часть энергии возвращается обратно к поверхности земли. Исследования влияния климатических изменений на выработку солнечных электростанций в мире показывают, что во многих нынешних солнечных регионах увеличится продолжительность пасмурной погоды, а в нынешних пасмурных регионах наоборот [10]. Однако, очищение атмосферы от транспортных и других энергетических выбросов, вызванных сжиганием угля, газа и нефти, теоретически может частично компенсировать снижение выработки от климатических изменений. Аналогичный эффект связывают с локдауном, вызванным COVID-19, который привел не только к сокращению загрязнения воздуха в крупных мегаполисах мира, но и к необычно высокому уровню солнечного света, достигшего солнечных панелей.

Заключение

Современные климатические вызовы и рост цен на редкоземельные металлы значительно повышают риски инвестиций в «зеленую» энергетику, а перенос сроков энергоперехода, или полной декарбонизации, становится все более вероятным. Например, если в Евросоюзе перенесут

сроки выхода на декарбонизацию с 2050 на 2060 год, это неминуемо обрушит стоимость акций компаний, которые занимаются возобновляемой энергетикой. На этом фоне малые компании, которые будут обеспечивать энергопереход, станут жертвой более крупных корпораций, которые сейчас переходят от нефтегазового бизнеса к чисто возобновляемой энергетике, что само по себе несет высокие стратегические риски инвестиций. Однако, очевидно, что те компании, которые взяли устойчивый курс на энергопереход, будут иметь высокий перспективный спрос на свою продукцию.

На этом фоне альтернативой инвестициям в редкие и цветные металлы могут стать инвестиции в переработку отходов «зеленой» энергетики, в том числе отслуживших свое аккумуляторов, которые сильно загрязняют окружающую среду. Оценить риски и доходность таких вложений пока сложно, но почти нет сомнений в том, что спрос на технологии утилизации тех же аккумуляторов будет только расти. Кроме того, дополнительные риски и расходы в сфере энергоперехода будут возникать в процессе обеспечения бесперебойной работы оборудования на фоне прогнозируемого обострения природно-климатических аномалий. Не защищены инвесторы и от рисков, связанных с ростом

числа стихийных бедствий. Как правило, при освоении новой территории под создание «зеленой» энергетической инфраструктуры учитываются статистические данные по прогнозу погодных аномалий, но фактически важные для работы оборудования ВИЭ характеристики, такие как температура воздуха, сила ветра, число солнечных дней и уровень осадков могут меняться вне всяких климатических прогнозов. В условиях рыночной экономики сложно искусственно заставить перейти с относительно дешевого углеводородного топлива на ВИЭ. Для этого нужны колоссальные субсидии и введение запретительных мер. В том случае, если цена на ископаемые энергоресурсы будет оставаться достаточно высокой, переход на ВИЭ будет проще обосновать, и внедрение «зеленой» энергетики будет происходить более органично. Таким образом, можно предположить, что «зеленый» переход станет и дальше поддерживать высокие цены на ископаемые углеводороды, а прогнозы о негативных последствиях для России из-за снижения спроса на углеводороды при декарбонизации ЕС не оправдаются.

Работа выполнена в рамках гос. заданий ОИВТ РАН и ИО РАН (№ 075-00460-21-00; № 0128-2021-0003) при финансовой поддержке Института исследований и экспертизы ВЭБ.РФ.

Использованные источники

1. Батенин В.М., Бушуев В.В., Воропай Н.И. Инновационная электроэнергетика – 21 // ИЦ «Энергия», 2017. 584 с.
2. Бушуев В.В., Зайченко В.М. Энергетика геотории // Региональная энергетика и энергосбережение. № 3, 2021. С. 50–53.
3. Masson-Delmotte V., Zhai P., Pörtner H.-O., Roberts D., Skea J., Shukla P.R., Pirani A., Moufouma-Okia W., Péan C., Pidcock R., others. Global warming of 1.5 C // An IPCC Special Report. 2018. (1). С. 1–9.
4. Климатологи Института географии РАН: «Рост температуры зимой в Северном полушарии примерно на 30% вызван повышением содержания в атмосфере парниковых газов и аэрозолей» // Институт географии РАН [Электронный ресурс]. 15.01.2021. URL: <http://www.igras.ru/news/2723> (дата обращения: 25.01.2021).
5. Klimenko V., Klimenko A., Tereshin A., Mikushina O. Energy and natural climate factors: if there is a chance to stop global warming? // Энергетическая политика. № 4, 2021. С. 12–29. DOI:10.46920/2409-5516_2021_4158_12.
6. Кулемякин Д. Отсутствие ветров привело к росту стоимости электроэнергии в Европе // Российская газета [Электронный ресурс]. 2021. URL: <https://rg.ru/2021/09/14/otsutstvие-vetrov-privelo-k-rostu-stoimosti-elektroenergii-v-evrope.html> (дата обращения: 11.10.2021).
7. Morison R., Shiryaevskaya A. U.K. Power Surges to Record 400 Pounds as Wind Fails to Blow - Bloomberg [Электронный ресурс]. 13.09.2021. URL: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2021-09-13/u-k-power-prices-hit-record-as-outages-low-winds-cut-supply> (дата обращения: 12.10.2021).
8. Akhtar N., Geyer B., Rockel B., Sommer P.S., Schrum C. Accelerating deployment of offshore wind energy alter wind climate and reduce future power generation potentials // Scientific Reports 2021 11:1. № 1(11), 2021. P. 1–12. DOI:10.1038/s41598-021-91283-3.
9. Su H., Jiang J.H., Neelin J.D., Shen T.J., Zhai C., Yue Q., Wang Z., Huang L., Choi Y.-S., Stephens G.L., Yung Y.L. Tightening of tropical ascent and high clouds key to precipitation change in a warmer climate // Nature Communications. № 1(8), 2017. P. 15771. DOI:10.1038/ncomms15771.
10. Feron S., Cordero R.R., Damiani A., Jackson R.B. Climate change extremes and photovoltaic power output // Nature Sustainability. № 3(4), 2021. С. 270–276. DOI:10.1038/s41893-020-00643-w.

Ольга ТУРКИНА
Заместитель генерального директора
по технической политике АО «ФИЦ», к. т. н.
e-mail: turkina@ftc-energo.ru

Илья ВОЛТОВ
Начальник управления разработки
программного обеспечения АО «ФИЦ»
e-mail: viltov@ftc-energo.ru

Дмитрий ИВАНОВ
Ведущий эксперт управления разработки
программного обеспечения АО «ФИЦ»
e-mail: ivanov-ds@ftc-energo.ru

Максим ЩЕРБАКОВ
Заведующий кафедрой «Системы
автоматизированного проектирования
и поискового конструирования» ФГБОУ ВО
«ВолгГТУ», д. т. н.
e-mail: anna.gorshik@yandex.ru

Olga TURKINA
Deputy General Director
for Technical Policy of FTC, Ph.D.
e-mail: turkina@ftc-energo.ru

Ilya VOLTOV
Head of the Software
Development Department of FTC
e-mail: viltov@ftc-energo.ru

Dmitry IVANOV
leading expert of the Software
Development Department of FTC
e-mail: ivanov-ds@ftc-energo.ru

Maxim SHCHERBAKOV
Head of the Department of Computer-Aided
Design and Search Engineering
of «VolgGTU», Doctor of Technical Sciences
e-mail: anna.gorshik@yandex.ru

57

ЭНЕРГЕТИКА

Аннотация. В статье дано описание информационной системы определения небалансов в распределительной сети (далее – система ИСОН), их интерпретации и расчета вероятностной модели безучетного и бездоговорного потребления электрической энергии на основе больших данных. Данный проект был реализован специалистами АО «ФИЦ» и ФГБОУ ВО «ВолгГТУ» в 2019 2021 гг. В статье представлены архитектурные решения, а также описано математическое обеспечение системы для выявления случаев бездоговорного и безучетного потребления.
Ключевые слова: передача электроэнергии, большие данные, машинное обучение, хищение электроэнергии, безучетное потребление, бездоговорное потребление.

Abstract. The article describes the information system for determining imbalances in the distribution network (hereinafter referred to as the ISON System), their interpretation and calculation of a probabilistic model of unaccounted or non-contractual electricity consumption based on «big data». This project was implemented by the specialists of FITs JSC and VolgSTU in 2019 2021. The article presents architectural solutions, as well as describes the mathematical support of the system for identifying cases of non-contractual and unaccounted consumption.
Keywords: electricity transmission, big data, machine learning, electricity theft, unaccounted consumption, non-contractual consumption.

“ Фактические потери электроэнергии являются наглядным индикатором состояния системы учета и эффективности сбытовой деятельности

Введение

Вопросам определения и снижения потерь электрической энергии посвящено большое количество научных трудов [1–7]. Размер фактических потерь энергии в сетях определяется как разница между объемом электрической энергии, поставленной в электрическую сеть из других сетей или от ее производителей, и объемом электрической энергии, потребленной устройствами, присоединенными к этой сети, а также переданной в другие сетевые компании.

Фактические потери электроэнергии на ее передачу и распределение по электрическим сетям являются важнейшим показателем эффективности передачи электроэнергии, наглядным индикатором состояния системы учета и эффективности сбытовой деятельности.
Структура потерь электроэнергии наиболее подробно описана в инструкции по организации работы по расчету и обоснованию нормативов технологических потерь электроэнергии при ее передаче по сетям (утв. приказом Минэнерго России от 30.12.2008 г. № 326, далее – инструкция).
Структура потерь электрической энергии в соответствии с инструкцией представлена в таблице 1.
В соответствии с правилами функционирования розничных рынков электрической энергии в переходный период реформирования электроэнергетики применяются следующие основные понятия: бездоговорное потребление, безучетное потребление, неучтенное потребление электроэнергии. Безучетное потребление электроэнергии (БУ) – потребление с нарушением установленного договором энергоснабжения, а бездоговорное потребление электроэнергии (БД) – самовольное подключение энергопринимающих устройств к объектам электросетевого хозяйства. Другими словами, «хищения» электрической энергии.

Потери электроэнергии				
Технологические потери			Нетехнические потери*	
Технические потери			Дополнительные технические потери	Нетехнические (коммерческие) потери
Условно-постоянные потери	Переменные потери	Потери, обусловленные допустимой погрешностью системы учета электроэнергии	- низкий уровень компенсации реактивной мощности; - неоптимальные режимы работы сетей, перегрузка и недогрузка оборудования; - плохое техническое состояние оборудования; - устаревшее оборудование с повышенным потреблением электроэнергии; - нерациональное построение сетей	- безучетное и бездоговорное потребление; - занижение полезного отпуска из-за недостатков энергосбытовой деятельности; - задолженность по оплате за электроэнергию и т. д.
- на корону; - в стали трансформаторов; - в компенсирующих устройствах; - в системе учета, - в вентильных разрядниках и ОПН; - в изоляции кабелей; - от токов утечки по изоляторам ВЛ; - СН подстанций, плавка гололеда	- в линиях; - в трансформаторах; - в токоограничивающих реакторах			

Таблица 1. Структура потерь электрической энергии

* в некоторых источниках нетехнические потери электроэнергии называются коммерческими, в зарубежных научных трудах также преимущественно используется термин «non-technical loss(es)» [3, 4, 5]

Потенциал снижения потерь в электросетях РФ по минимальным оценкам составляет около 15–25 млрд кВт·ч в год, из них 20 млрд кВт·ч – потенциал снижения нетехнических потерь электроэнергии

При сравнении фактических относительных потерь энергии в электрических сетях России с уровнями потерь в промышленно-развитых странах, следует, что в нашей стране имеется существенный потенциал снижения потерь. По минимальным оценкам он составляет около 15–25 млрд кВт·ч в год. Из них 20 млрд кВт·ч – потенциал снижения нетехнических потерь электроэнергии. Доля потенциала снижения значений фактических потерь электроэнергии в распределительных электрических сетях колеблется в диапазоне от 10 до 40 % [2].

Массовое внедрение интеллектуальных приборов учета (англ. advanced metering infrastructure (AMI), smart meters) электроэнергии в России с небольшим отставанием от развитых стран началось в 2018 г. [8]. Так, только в некоторых электросетевых компаниях на начало 2021 г. установлено более 26 700 «умных» счетчиков [9]. Их внедрение повысило прозрачность процесса передачи электрической энергии, а также предоставило дополнительную возможность по выявлению случаев ее хищения. Поскольку интеллектуальные приборы учета передают показания достаточно часто (обычно один раз в 30 минут), а самих «умных» счетчиков в рамках одного региона страны установлено в среднем на текущий момент уже несколько тысяч, то на серверах энергосбытовых и электросетевых компаний скапливаются значительные объемы данных («большие данные», англ. big data) о протекающей по элементам сети электроэнергии и профилях потребления. Подобное количество данных не может быть эффективно проанализировано вручную. Одна из сетевых компаний на своей территории запустила пилотный проект по созданию информационной системы управления передачей электроэнергии с использованием

технологии больших данных, предполагающий, в том числе, анализ поступающих показаний интеллектуальных приборов учета в автоматическом режиме. Несколько иностранных публикаций [3–6] достаточно полно описывают разработанные на текущий момент методы подобного анализа. Авторы предлагают те или иные методы статистического анализа, машинного обучения, демонстрируя результаты их применения на реальных или синтетических данных. Однако, изучив большое количество материалов, авторы данной публикации пришли к выводу, что на настоящий момент не существует какого-либо единого набора данных (датасета) показаний приборов учета и информации о хищении электроэнергии (как ImageNet в задачах компьютерного зрения), на котором исследователи из разных стран могли бы сравнивать различные подходы. Не было обнаружено сведений о значимых реализованных проектах в мире в этой области, успешно доведенных до ежедневного использования на практике. Поэтому создание описываемой информационной системы велось, хоть и с оглядкой на накопленный мировой опыт, но не по шаблону и с учетом региональных особенностей.

Самые распространенные на сегодня бытовые двухфазные счетчики электричества



Источник: Vicdemi / Depositphotos.com

Внедрение интеллектуальных приборов учета в России с небольшим отставанием от развитых стран началось в 2018 г. В ряде компаний на начало 2021 г. установлено более 26700 «умных» счетчиков

Случаи хищения электроэнергии принципиально могут быть поделены на случаи безучетного и бездоговорного. Таким образом, вмешательство в работу прибора учета является в общем случае безучетным потреблением, а наброс провода на воздушную линию электропередач (ЛЭП) или подпольная майнинг-ферма является в общем случае бездоговорным потреблением. Бездоговорное потребление электроэнергии наказывается более крупным штрафом, чем безучетное для аналогичного потребителя [12]. В связи с этим, поиск бездоговорного потребления для сетевых компаний является приоритетной задачей.

Система ИСОН поддерживает интеграцию с системами, обеспечивающими сбор данных с приборов учета электроэнергии и выполняет автоматизированный учет транспорта и распределения энергоресурсов

При разработке ИСОН был проведен анализ бизнес-процессов электросетевой компании в части управления передачей электроэнергии, и определены необходимые источники данных.

Источниками данных стали:

- топология электрической сети;
- параметры участков электрической сети (в том числе паспортные данные линий электропередач);
- показания приборов учета электроэнергии от сбытовых компаний;
- показания приборов технического учета электроэнергии, расположенных в электрической сети (не у потребителей в общем случае);
- сведения об объектах недвижимости и потребителях (справочный контент из открытых геоинформационных систем; информация об юридических лицах, полученная из специализированной системы проверки контрагентов);
- общие данные (сведения о погоде);
- данные о ранее выявленных случаях безучетного и бездоговорного потребления.

При этом основными этапами разработки были определены:

- дата-инжиниринг – определение и сбор необходимой информации;
- разработка алгоритмических решений;
- проверка моделей и их тюнинг;
- реализация эргономичного пользовательского интерфейса, решающего задачи анализа объектов с вероятным безучетным или бездоговорным электропотреблением и контроль заданий, выданных на эти объекты.

Интеграционные решения при создании ИСОН

Внутрикорпоративный сектор. Информационная система сбора данных с приборов учета. Система ИСОН поддерживает интеграцию с системами, обеспечивающими сбор данных с приборов учета электроэнергии (в том числе и с устройств сбора и передачи данных – УСПД) и выполняет автоматизированный учет транспорта и распределения энергоресурсов.

К данным учёта энергоресурсов, получаемым с приборов учёта и УСПД различных производителей относятся:

- показания приборов учёта суммарные и по тарифам, текущие и зафиксированные;
- на начало отчётного периода;
- интервальные энергии, мощности, расходы за 1 час (30 минут);
- энергии, расходы за 1 сутки, месяц, год;
- параметры качества электрической сети с построением векторной диаграммы;
- журналы событий оборудования связи и учёта;
- журналы показателей качества электроэнергии (ПКЭ).

Сбор данных производится в автоматическом (по расписанию) и ручном (по запросу пользователя) режиме. Выполняется подробное фиксирование и диагностика

Незаконное подключение несет риски для работы энергосистемы в целом

Источник: _fla / Depositphotos.com



Незаконные врезки ставят под угрозу нормальное энергообеспечение целых районов
Источник: fotokon / Depositphotos.com

сбора данных и связи с оборудованием учёта. База данных оптимизирована для хранения больших массивов информации с глубиной 3,5 года и более.

- 1. Геоинформационная система общества.** Геоинформационная система Общества является информационной системой для автоматизации процессов сбора, обработки, ввода, верификации и визуализации сведений об электросетевом хозяйстве, взаимосвязях объектов электросетевого хозяйства (ОЭСХ) на картографической основе.
- 2. Автоматизированная система технологического управления (АСТУ).** АСТУ представляет собой программный комплекс с изменяемым набором приложений (SCADA/EMS/DMS/OMS/DTS) для создания автоматизированных систем оперативно-диспетчерского, технологического и ситуационного управления объектами электроэнергетики. АСТУ является источником топологии энергетической сети класса напряжения 6–110 кВ.
- 3. Информационная система управления производственными активами.** СУПА содержит сведения об оборудовании электросетевой компании (марки и параметры воздушных и кабельных линий, трансформаторов, выключателей и т. д.). Прора-

ботаны интеграционные решения с информационной системой СУПА, реализованной как на базе 1С, так и SAP.

Внешний сектор. Реализованы интеграционные решения с системой информационного обмена между электросетевой компанией и сбытовыми компаниями, представленными в данном регионе.

Данная система информационного обмена содержит показания приборов учета электроэнергии, переданные сбытовыми компаниями (а тем, в свою очередь, передали потребители – показания физических и юридических лиц, общедомовые нужды).

Дополнительно для получения сведений о потребителях была реализована интеграция с информационной системой Федеральной службы государственной регистрации, кадастра и картографии (Росреестр) и информационной системой СПАРК [15]. Для получения сведений о погоде была выполнена интеграция с информационной системой OpenWeatherMap [16].

Математическое обеспечение системы ИСОН. Разработанная система ИСОН представляет собой систему поддержки принятия решений (СППР) для выявления безучетного и бездоговорного потребления.

При разработке математического обеспечения системы ИСОН использовались следующие основные предположения:

- небаланс между показаниями приборов учета на последовательном участке электрической сети может указывать на безучетное и бездоговорное потребление;
- значительное отличие реального потребления от прогнозируемого;
- характеристики временных рядов показаний физических и юридиче-

Сбор данных производится в автоматическом и ручном режиме. Выполняется фиксирование и диагностика сбора данных. База данных может хранить большие массивы информации с глубиной от 3,5 лет



Сельский техник берет чтение электрометра

Источник: grigvovan / Depositphotos.com

ских лиц, осуществляющих хищение электроэнергии тем или иным способом, могут иметь особенности и в среднем отличаться от таких же характеристик для потребителей, не осуществляющих хищение электроэнергии;

- дополнительные сведения об объектах недвижимости и потребителях могут повышать или понижать вероятность выявления у них случаев безучетного и бездоговорного потребления.

Последовательность обработки и анализа данных в системе ИСОН упрощенно можно представить следующим образом:

Для получения сведений о потребителях система ИСОН интегрирована с информсистемами Росреестра и СПАРК. Для получения сведений о погоде была выполнена интеграция с OpenWeatherMap

- на основе сведений о топологии электрической сети формируется (или корректируется) ее модель в виде графа (в случае изменения топологии обновляется);
- на основе сведений о местах расположения в сети приборов учета формируются балансовые группы (последовательные участки сети, на которых возможно по показаниям свести баланс поступившей и переданной дальше или потребленной электроэнергии) – алгоритм формирования балансовых групп (АФБГ);
- для полученных балансовых групп рассчитывается небаланс – алгоритм расчета небалансов в балансовых группах (АНБГ);
- рассчитываются технические потери в балансовых группах (алгоритм расчета технических потерь), происходит корректировка рассчитанных в п. 3 небалансов на величину технических потерь;
- производится оценка, рассчитанных в п. 3–4 небалансов – в случае высокого значения небаланса, оценивается процент передачи показаний, входящих в рассматриваемую балансовую группу приборами учета и, если он достаточно высок, оценивается

В результате создается ранжированный по величине небалансов перечень адресов объектов с возможным хищением электроэнергии и указанием на более вероятные в плане хищения группы потребителей

ван подход выявления возможных случаев безучетного и бездоговорного потребления с помощью нейросетевой модели «долгой краткосрочной памяти» (Long short-term memory, LSTM). Подход заключался в анализе временных рядов потребления электроэнергии различными потребителями.

Кроме того, в модели использовались адреса объектов, индексы доверия показаниям потребителей, данные о погоде, производственный календарь (выходные и рабочие дни), процент передачи показаний приборов учета, данные из информационной системы проверки контрагентов СПАРК, данные о выявленных ранее слу-

процент соответствия предиктивного (прогнозируются показания приборов учета с помощью градиентного бустинга) и фактического небалансов – если он достаточно низок (т. е. предиктивный и фактический небалансы не совпадают (нехарактерный для данной балансовой группы небаланс), то переход к п. 6 (интерпретация небаланса с возможным повышением вероятности хищения электроэнергии для физических и юридических лиц);

- выполняется прогнозирование показаний физических и юридических лиц (выполняется с помощью градиентного бустинга с использованием библиотек XGboost и Catboost) – на основе оценки разницы предиктивных и фактических показаний рассчитать индексы доверия показаниям физических и юридических лиц.

В результате данных действий создается ранжированный по величине небалансов перечень адресов объектов с возможным хищением электроэнергии и указанием на более вероятные в плане хищения группы потребителей.

Для дальнейшего детального анализа потребления, в системе ИСОН был реализо-

ЛЭП в сельской местности

Источник: photollurg2 / Depositphotos.com



чаях безучетного и бездоговорного потребления.

В результате этого, с помощью выше-описанной модели LSTM также создается ранжированный по убыванию вероятности хищения электроэнергии перечень адресов объектов с указанием на более вероятные в плане хищения группы потребителей.

Далее, два списка проходят перекрестное сравнение и в итоговый перечень для пользователя системы ИСОН определяются объекты, отобранные и с помощью определения небалансов в распределительной сети, и с помощью нейросетевой модели LSTM.



Современные системы учета энергопотребления
Источник: michaeljung / Depositphotos.com

Приведем более подробное описание некоторых алгоритмов, реализованных для определения небалансов в распределительной сети и их интерпретации.

Алгоритм формирования балансовых групп и небаланса

Назначение: формирование балансовых групп (балансовая группа – часть электрической сети, оснащенная действующими приборами учета электроэнергии, по показаниям которых возможно свести баланс полученной в балансовую группу электроэнергии и потребленной и/или переданной дальше) для дальнейшего определения в них небаланса, одной из интерпретаций

которого является хищение электроэнергии в том или ином виде, искомое в проекте.

Идея: определить «входные» и «выходные» приборы учета в схеме таким образом, чтобы в результате были сформированы отдельные участки сети небольшого размера, на которых возможно вычислить небаланс (разность «поступившей» и «отданной» электроэнергии с учетом технических потерь на участке).

Входные данные: сведения о топологии электрической сети, адресах домов, расположении и показаниях приборов учета.

Выходные данные: перечень балансовых групп.

Алгоритм расчета технических потерь

Назначение: расчет технических потерь электроэнергии в элементах сети в соответствии с инструкцией.

Идея: рассчитать технические потери электроэнергии в элементах сети для того, чтобы учесть их при расчете небаланса в балансовых группах.

Входные данные: сведения о топологии электрической сети, параметрах и справочных данных по кабельным линиям и силовым трансформаторам, показания приборов учета.

Выходные данные: технические потери электроэнергии в элементах сети и балансовых группах.

Прогнозирование показаний приборов учета физических и юридических лиц

Назначение: прогнозирование показаний приборов учета для последующего соотнесения с фактическими показаниями.

Идея: выполнить прогнозирование показаний (решить задачу регрессии) качественной регрессионной моделью.

Входные данные: показания приборов учета, данные о погоде, сведения об объекте недвижимости.

Выходные данные: прогнозируемые показания приборов учета.

Полученные результаты

Построена уникальная информационная система, обеспечивающая интеграцию с корпоративными информационными системами дочерних предприятий «Россетей».

В 2021 году реализовано внедрение данной информационной системы с некоторыми доработками в одной из «дочек» «Россетей».

Средний уровень выявления случаев безучетного и бездоговорного потребления с использованием данной системы (около 10 случаев на 100 объектов) превосходит средний уровень аналогичного выявления «вручную» (около 3–5 случаев на 100 объектов).

Для определения необходимости изменения или дополнения использованных моделей необходим определенный период сбора информации от пользователей и анализа статистики отработанных заданий в разработанной системе.

Выводы

Хищение электрической энергии является серьезной проблемой для электроэнергетики, а фактические потери электроэнергии являются важнейшим показателем эффективности ее передачи.

Для выявления хищения электроэнергии целесообразно использовать возможности анализа показания интеллектуальных приборов учета, дистанционно передающих показания с высокой частотой, установка которых в большом числе является в энергетике одним из значимых мировых и отечественных трендов

последних лет. Из-за большого объема накапливаемых данных целесообразно использовать методы интеллектуальной обработки данных, в том числе машинного обучения.

В результате внедрения и опытной эксплуатации были выявлены случаи безучетного и бездоговорного потребления, на основе рекомендаций системы ИСОН. Предварительные результаты оказались выше среднего уровня выявления случаев безучетного и бездоговорного потребления без использования алгоритмов и методик, заложенных в систему ИСОН. При этом время на принятие решения существенно снизилось.

В ходе реализации проекта может быть построена информационная система по принципу единого хранилища данных, «привязывающая» приборы учета к топологии электрической сети и позволяющая наглядно видеть оснащенность ими электрических сетей.

Система ИСОН обладает эргономичным человеко-машинным интерфейсом в области визуализации и анализа транспорта электроэнергии, подходящего для дальнейшего развития и автоматизации.

Получено свидетельство о регистрации программного обеспечения, что позволяет рассматривать систему ИСОН, как корпоративное отраслевое решение.

Использованные источники

1. Потери электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии: Руководство для практических расчетов / Ю. С. Железко. – М.: ЭНАС, 2009. – 456 с.
2. Воротицкий В. В. Анализ динамики, структуры и мероприятий по снижению потерь электроэнергии в электрических сетях // Энергоэксперт. № 5–6 (64), 2017.
3. Данилов М. И., Романенко И. Г. Метод расчета и мониторинга нетехнических потерь электроэнергии в распределительной сети 380 В, контролируемой системой учета // Электроэнергия. Передача и распределение. № 6 (63), 2020. С. 46–53.
4. Glauner, P.; et al. (2017). The Challenge of Non-Technical Loss Detection using Artificial Intelligence: A Survey. International Journal of Computational Intelligence Systems. 10 (1): 760–775.
5. Viegas, J.L.; et al. (2017). Solutions for detection of non-technical losses in the electricity grid: A review. Renew. Sustain. Energy Rev. 80: 1256–1268.
6. G. M. Messinis, N. D. Hatzigargyriou. (2018). Review of non-technical loss detection methods, Electr. Power Syst. Res. 158: 250–266.
7. M. Buzau. (2019). Machine learning algorithms for the detection of non-technical losses in electrical distribution networks. PhD Thesis. – URL: <https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/99057/Buzau%2C%20Madalina%20Mihaela%20Tesis.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
8. 101 способ хищения электроэнергии / В. В. Красник. – М.: ЭНАС, 2005. – 112 с.
9. ПАО «Россети». Концепция «Цифровая трансформация 2030» (протокол заседания совета директоров ПАО «Россети» от 21.12.2018 г. № 336). – URL: https://www.rosseti.ru/investment/Kontsepsiya_Tsifrovaya_transformatsiya_2030.pdf
10. Дорожная карта по реализации концепции «Цифровая трансформация 2030» (приказ ПАО «Россети» от 20.03.2019 г. № 56).
11. Постановление Правительства РФ от 04.05.2012 г. № 442 «О функционировании розничных рынков электрической энергии, полном и (или) частичном ограничении режима потребления электрической энергии».
12. URL: <http://www.sicon.ru/prod/po/pyramidnet/>
13. URL: <https://monitel.ru/products/ck-11/>
14. URL: <https://www.spark-interfax.ru/>
15. URL: <https://openweathermap.org/>

Баярын БАТ-ЭРДЭНЭ
Заведующий кафедрой «Электротехника»,
Монгольский государственный
университет науки и технологий,
профессор, к. т. н.
e-mail: batmunkh_acad@yahoo.com

Николай ВОРОПАЙ
Научный руководитель ФГБУН «Институт
систем энергетики им. Л. А. Мелентьева»
СО РАН, чл.- корр. РАН
e-mail: voropai@isem.irk.ru

Санжийн ЛЯНХЦЭЦЭГ
Преподаватель кафедры
«Электротехника», Монгольский
государственный университет науки
и технологий, доцент, к. т. н.
e-mail: batmunkh_acad@yahoo.com

Сэрээтэрийн БАТМУНХ
Профессор кафедры «Теплоэнергетика»,
Монгольский государственный
университет науки и технологий, академик
АН Монголии, профессор, д. т. н.
e-mail: batmunkh_acad@yahoo.com

Bayaryn BAT-ERDENE
Head of the Department of Electrical Engineering,
Mongolian state University of Science and Technology,
professor, Ph.D.
e-mail: batmunkh_acad@yahoo.com

Nikolay VOROPAI
Scientific Adviser of Melentiev Energy Systems Institute,
Corresponding Member of The RAS
e-mail: voropai@isem.irk.ru

Sanzhiin LYANKHTSETSEG
Lecturer of the department «Electrical Engineering»,
Mongolian State University of Science and Technology,
Associate Professor, Ph.D.
e-mail: batmunkh_acad@yahoo.com

Sereeter BATMUNKH
Professor of the Department of Heat Power Engineering,
Mongolian state University of Science and Technology,
Academician Academy of Sciences of Mongolia,
professor, doctor of technical sciences
e-mail: batmunkh_acad@yahoo.com

67

РЕГИОНЫ

Аннотация. В настоящее время в связи с предстоящим созданием ЕЭЭС в Монголии и будущим выходом на международный электроэнергетический рынок актуальным является решение проблем, связанных с разработкой научно-обоснованного методического подхода к планированию и управлению электроэнергетических систем страны. Проблемы должны быть решены на основе концепций, предусмотренных в программных документах развития энергетики Монголии при учете вопросов повышения показателей безопасности, роста внутреннего потребления электроэнергии и особенностей внешнего рынка. Методом системного анализа ведутся и исследования по разработке вариантов моделирования единой электроэнергетической системы. В данной статье рассматривается методология указанного исследования, приводятся некоторые обобщающие итоги.
Ключевые слова: единая электроэнергетическая система, иерархический уровень, перспективы развития, модель единой системы, управление системой, показатели факторов.

Abstract. Currently, in connection with the upcoming establishment of the UES in Mongolia and the future entry into the international electric power market, it is urgent to solve the problems associated with the development of a scientifically based methodological approach to the planning and management of the country's electric power systems. The problems should be solved on the basis of the concepts provided for in the Program Documents of Mongolia's Energy Development, taking into account the issues of improving safety indicators, the growth of domestic electricity consumption and the peculiarities of the external market. By the method of system analysis, research is also being conducted on the development of modeling options for a unified electric power system. This article discusses the methodology of this study, provides some generalizing results.
Keywords: unified electric power system, hierarchical level, development prospects, unified system model, system management, factor indicators.

“
**В Монголии более
80 % электроэнергии
производится
на угольных ТЭС.
Подключение к сети
мощностей ВИЭ
практически невозможно**

Введение

Этапы исторического развития энергетики Монголии в соответствии с этапами социально-экономического развития страны в свете осуществления стратегии и политики развития отрасли, по нашему мнению, можно разделить на два времен-

ных интервала: первый охватывает период до 1990 года и второй – период после 1990 года.

Первый интервал времени совпадает с периодом социалистического строительства страны т. е. годами управления по принципам централизованной плановой экономики при содействии стран-членов СЭВ, в том числе при непосредственной помощи СССР. Началось активное потребление электроэнергии промышленностью и сельским хозяйством. Статистика показывает, что к 1989 году 95,8 % внутреннего спроса покрывалось уже собственными мощностями. При этом объем выработки достиг 3568,3 млн кВт·ч. Электровооруженность труда в народном хозяйстве составляла к этому времени 19,2 тыс. кВт·ч/чел., а потребление электроэнергии на душу населения – 1767,5 кВт·ч/чел., что приблизилось к мировому среднему показателю электропотребления того времени [1].

С изменением с 1990-х годов концепции развития Монголии, когда страна переходила на рыночные отношения, произошли серьезные изменения в энергетике. С на-



Рис. 1. Электроэнергетические системы Монголии и их электрические связи с соседними странами

чала XXI века, благодаря внедрению новой техники и технологий мирового стандарта, энергетика набрала нужный темп дальнейшего развития. За последние 30 лет производство электроэнергии возросло в 2 раза, достигло в 2019 году 6900,1 млн кВт·ч. Около 20 % электропотребления в стране покрывается за счет импорта [2, 3]. Потребление электроэнергии на душу населения достигает 2163,1 кВт·ч/чел., когда мировой средний показатель – 3507,1 кВт·ч/чел. Эти данные подтверждают явный рост отечественной энергетики.

Хотя Монголия и обладает огромными ресурсами возобновляемых (солнца, ветра) и невозобновляемых (угля, горючего сланца) источников энергии, из-за огромной территории, небольшой численности населения и слабого развития энергоемкого

и работающего по непрерывному графику производства, имеются некоторые особенности развития электросетевого комплекса. Это ограничивает использование напрямую мирового опыта и конкретных уже отработанных методологий.

В стране более 80 % электроэнергии производится на угольных тепловых электростанциях (ТЭЦ). Подключение к сети мощностей ВИЭ практически невозможно. При этом Монголия при формировании своей энергетической концепции должна учитывать тот факт, что окружена странами-лидерами потребления электроэнергии.

Монголия имеет электрические связи с Россией и Китаем по нескольким трассам ЛЭП разных уровней напряжения, и эти линии предназначены только для импорта электроэнергии (рис. 1).

Создание генерации, которая бы позволила на 100 % закрыть собственные потребности в электроэнергии, сопряжено с рядом сложностей. Создание и поддержание таких мощностей требует значительных инвестиций. Нами в [4] проводились исследования работы ЭЭС Монголии без учета импорта электроэнергии. Выяснилось, что только для обеспечения необходимой располагаемой мощности центральной энергосистемы требуется 418 МВт генерирующих мощностей в районах городов Эрдэнэт и Сайншанд. Поставки электроэнергии из РФ не только обеспечивают необходимую располагаемую мощ-

Создание генерации, позволяющей на 100 % закрыть собственные потребности в энергии, сопряжено с рядом сложностей, в первую очередь, с необходимостью привлечения значительных инвестиций

ность, но и одновременно выполняют роль резерва мощности и регулятора частоты ЭЭС. Поэтому, к выбору оптимального варианта электроснабжения страны нужно подходить с учетом реальной возможности, надежности электроснабжения, укрепления энергетической безопасности и позиций на внешних рынках.

Методология и методы исследования

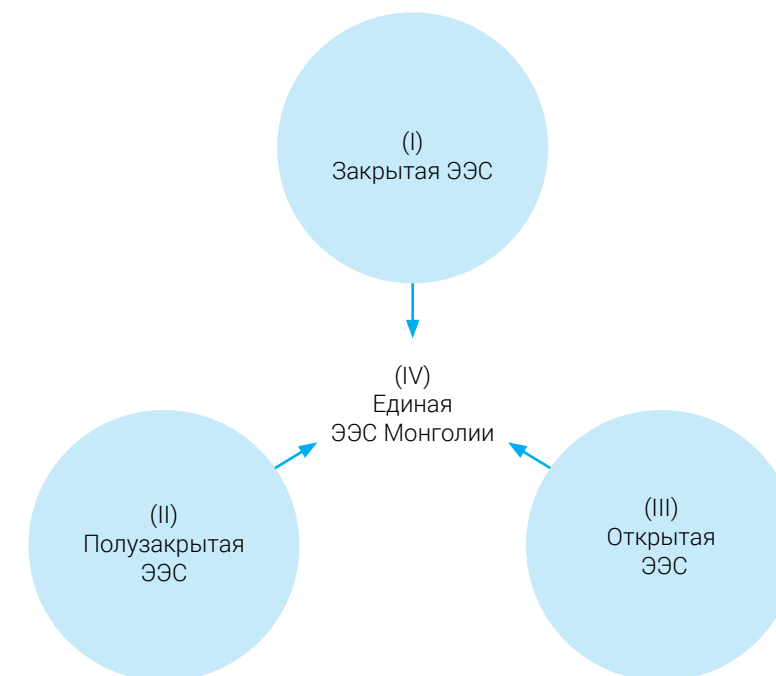
Основной целью исследования являлась разработка модели ЭЭС Монголии, которая позволяла бы определить рациональную технологическую структуру и направления по созданию ЕЭЭС со своими особенностями, отражающими специфику экономического развития страны [5]. Для решения поставленных целей и задач исследования нами разработаны четыре сценария развития электроэнергетической системы. Первый сценарий – самостоятельная закрытая (изолированная), т. е. без внешних связей система, обеспечивающая полностью свою потребность в электроэнергии, независимая в любое время от импорта (I), второй сценарий – полужакрытая система, обеспечивающая энергопотребление в аварийных условиях за счет импорта (II), третий сценарий – мощная открытая система, работающая

на основе достаточного освоения своих первичных источников энергии и экспортирующая электроэнергию на внешний рынок (III) (рис. 2), и четвертый сценарий – реальная, даже можно сказать оптимальная единая электроэнергетическая система, соответствующая особенностям и масштабам социально-экономического развития и развития производительных сил страны, которая по мере надобности и возможности работает в импортно-экспортных режимах (IV).

Нужно отметить, что в настоящее время в Монголии ввод новых генерирующих мощностей сильно отстает от роста электропотребления. Проблема усугубляется значительным старением основного оборудования. По отдельным показателям она находится на границе предстоящего возможного наступления предкризисной ситуации [4]. Также пока ввод новых ветро- и гелиоэнергетических источников сравнительно большой мощности (50–100 МВт) усложняет режим работы ЭЭС.

При разработке четвертого сценария нами выбраны первые три сценария как показатели предельных условий, также сделана попытка разработки и применения комплексного анализа с ориентацией на системный подход на основе системного анализа. На основе указанной методологии будущее приемлемое состояние электроэнергетической системы Монголии, соот-

Рис. 2. Модель выбора оптимального сценария ЭЭС



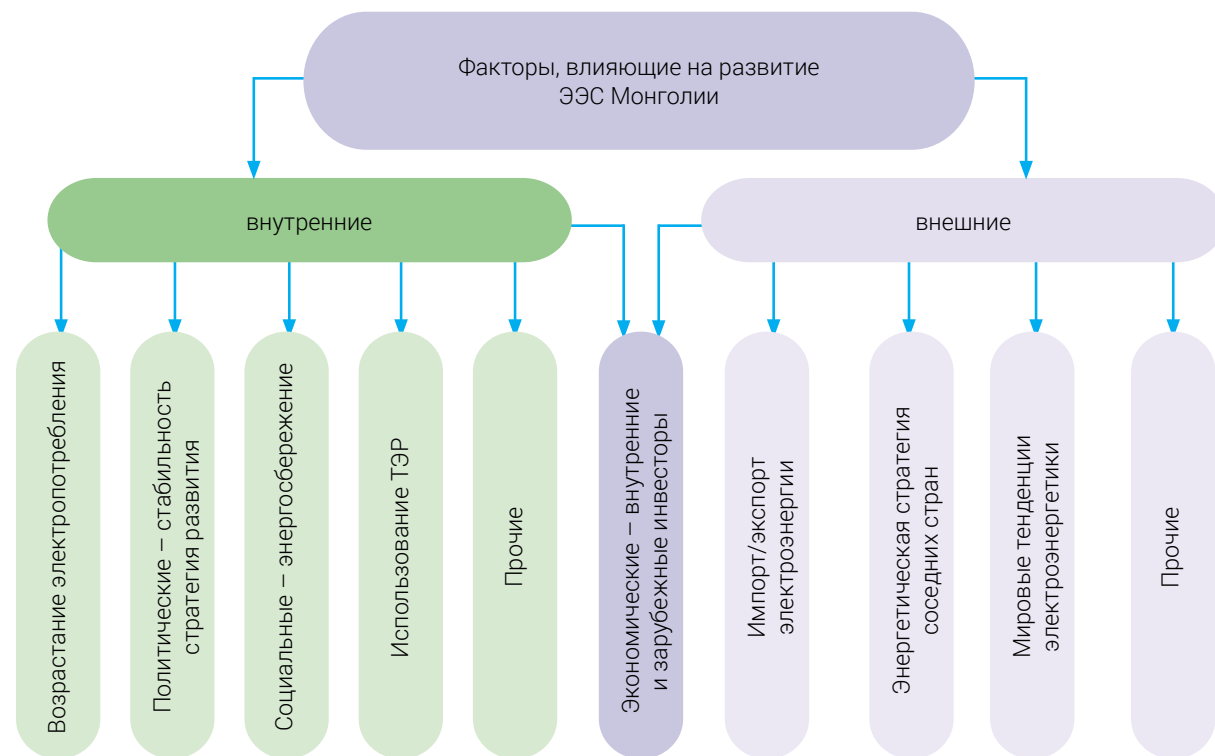


Рис. 3. Классификация факторов, влияющих на политику развития электроэнергетической системы Монголии

ведствующее четвертому сценарию, можно определить так, как показано на рис. 2.

Состояние ЭЭС, соответствующее этому сценарию, не будет иметь статического положения, а будет свободно меняться в пределах треугольника в зависимости от ситуационных и временных изменений влияющих факторов. По всей электроэнергетической системе в целом можно выделить четыре иерархических уровня развития. Первый – это ныне существующие ЭЭС, второй – ЕЭЭС Монголии, третий – параллельно работающая система с ЭЭС

сопредельных стран, и четвертый – ЕЭЭС Монголии как составная часть международного энергообъединения – «super grid» стран Северо-Восточной Азии.

Отсюда вытекает необходимость использования методики системного исследования с иерархическим многоуровневым представлением ЭЭС и ТЭК Монголии [6]. Задачей модели является определение индикативных показателей развития энергетики, однако эта работа усложняется неопределенностью и неточностью данных о влияющих факторах.

Республика Монголия

Источник: Schalk Burger / pinterest.ru



Исследования и анализ результатов и факторов

Факторы, которые влияют на развитие энергетического сектора и ЭЭС Монголии, в целом по происхождению могут быть разделены на внешние и внутренние.

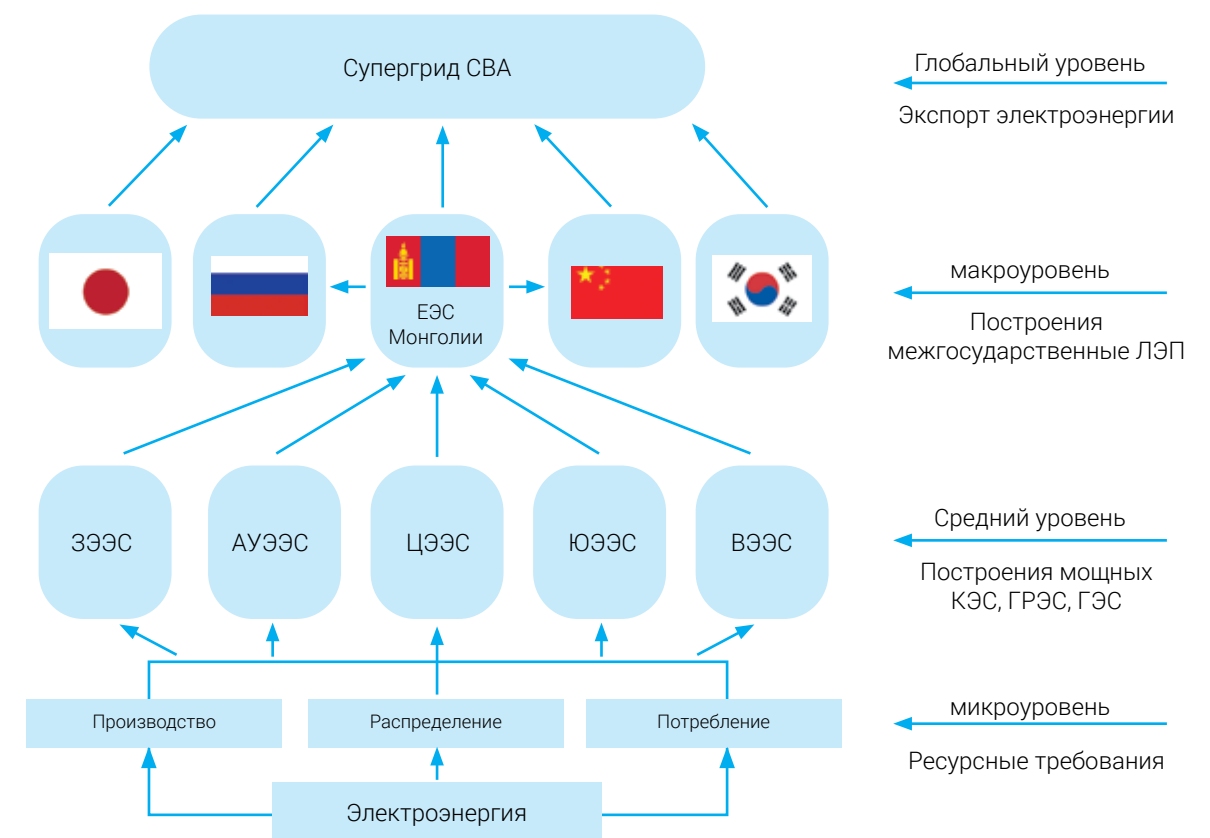
Системный анализ факторов на рис. 3 показывает, что они могут быть классифицированы по следующим уровням иерархии (рис. 4), что дает возможность правильно оценить их действие и определить перспективы развития энергетики Монголии.

1. Микроуровень (региональные электроэнергетические системы и ТЭК) – здесь предусматриваются и оцениваются региональные первичные энергоресурсы, перспективы их использования и показатели потребления. На этом уровне учитываются такие внешние факторы, как тенденция развития мировой энергетики, например, развитие «зеленой» энергетики и т. п.
2. Средний уровень (единая электроэнергетическая система страны) –

здесь рассматриваются вопросы функционирования и обеспечения показателей единой системы, полного снабжения электроэнергией внутреннего потребления отечественными ГЭС, крупными электростанциями на твердом топливе и комбинированных солнечно-ветровых станций. Одновременно допускается возможность экспорта электроэнергии. На этом уровне важным является оптимизация территориального расположения генерирующих мощностей.

3. Макроуровень (создание надежных межгосударственных связей) – на этом уровне предполагается разработка модели схемы параллельно работающей системы с ЭЭС сопредельных стран – РФ и КНР, т. е. схемы, обеспечивающей регулирование оптимального соотношения импорта и экспорта.
4. Глобальный уровень (выход на суперсеть Северо-Восточной Азии) – здесь рассматриваются вопросы

Рис. 4. Иерархическая схема развития энергетики Монголии





Один из крупнейших потребителей энергии в Монголии – рудник Ою Толгой, разрабатываемый Rio Tinto

Источник: indoasiancommodities.com

создания мощных источников, обеспечивающих условия для участия в указанной системе в качестве партнера-экпортера, тем самым будут рассмотрены также вопросы разработки решений по системе автоматического управления ЕЭЭС Монголии при условиях параллельной работы сетью СВА.

При анализе перспектив развития энергетики необходимо дать оценку состояния по каждому индикатору и комплексную оценку целостной картины развития. Для таких оценок используется методика, основанная на получении комплексных показателей путем сравнения (по критериям идентификации) расчетного значения ин-

дикаторов, выраженных различными единицами (установленная мощность [МВт], инвестиция [млн тугрик], показатели экономики и безопасности и т. д.) в относительных единицах.

Факторы, влияющие на данном уровне иерархии, отмечены в таблице 1 знаком (+), не влияющие, т. е. не имеющие значения – (-).

Для Монголии с малым населением, располагающей огромной территорией, возможно много конкурентных вариантов (в пределах треугольника на рис. 2). Чтобы выбрать из них самый рациональный вариант, нужно разработать такую математическую модель, которая могла бы выражать расчет оптимального соотношения факторов по каждому уровню иерархии.

Таблица 1. Матрица учета факторов на различных уровнях иерархий ЭЭС

№	Показатели факторов	Иерархический уровень			
		I	II	III	IV
1	Рост – потребление электроэнергии	+	+	-	-
2	Социальный показатель – энергосбережение	+	+	-	-
3	Политика – стабильность политики развития	+	+	+	+
4	Потребление топлива – ресурсы источников энергии	+	+	+	+
5	Экономика – инвестиция	+	+	+	+
6	Импорт электроэнергии	+	+	+	+
7	Экспорт электроэнергии	-	+	+	+
8	Стратегия энергетики соседних стран	-	+	+	+
9	Мировые тенденции развития энергетики	+	+	+	-

№	Факторы	Уровни иерархии			
		I	II	III	IV
1	Рост – потребление электроэнергии	Надежность сетей	Передаваемость электроэнергии по ВЛ	-	-
2	Социальный показатель – энергосбережение	Энергосбережение	Внедрение энергосберегающих технологий	-	-
3	Политика – стабильность политики развития	Единая политика развития	Долгосрочная политика развития	Энергетическая политика соседних стран	Политика региона СВА
4	Потребление топлива – первичные ресурсы энергии	Топливно-энергетические ресурсы конкретного региона	Расположение источников	Баланс экспорта и импорта	Ресурсы ВИЭ
5	Экономика – инвестиции	Покрытие инвестиций за короткий срок	Интересы внутренних и иностранных инвесторов	Поддержка инвестиций	Экономическая эффективность
6	Импорт электроэнергии	Сокращение импорта энергии	Создание оптимального соотношения экспорта и импорта	Сокращение импорта	Сокращение импорта
7	Экспорт электроэнергии	-	Создание оптимального соотношения экспорта и импорта	Повышение экспорта	Становление страны-экспортера
8	Стратегия энергетики соседних стран	-	Стратегия развития ЕЭЭС	Международные (межгосударственные) ВЛЭП	Становление страны-экспортера
9	Мировые тенденции развития энергетики	Создание распределенных источников	Внедрение цифровых технологий	Инфраструктура цифровых технологий	Интеллектуальная ЭЭС

Таблица 2

Основные направления:

1. Успех энергобизнеса, который отличается относительно длительными сроками окупаемости, зависит во многом от устойчивой и приоритетной государственной политики в области энергетики [7] при долгосрочной и стабильной поддержке со стороны правительства. В связи с этим для строительства режимно-регулирующих станций, обеспечивающих стабильность в ЭЭС, необходимо бюджетное финансирование. Кроме того, требуется и финансовая политика государства для региональных энергетических источников инвестиций частного сектора (показатели 3, 5 в таблице 1).

2. Активное участие в энергетической интеграции регионов Северо-Восточной Азии, включение сетью с линиями с высокой передаваемой мощностью в электроэнергетические системы соседних стран, установление рационального соотношения импорта и экспорта электроэнергии и обеспечение энергетической безопасности (показатели 6, 7, 8, 9 в таблице 1).

В таблице 2 показаны условия, выражающие влияние на каждый уровень иерархии и критерии.

Математическое моделирование структуры ЕЭЭС и выбор оптимального варианта системообразующей линии

Для определения структуры ЕЭЭС, основываясь на разработанной методологии, использована многоузловая комплексная структурная схема, в которой объединены региональные электроэнергетические системы (ЭЭС). Расчет выполнен на модели СОЮЗ, разработанной в ИСЭМ СО РАН, она включает в себя блоки балансов мощности, балансов зон суточных графиков нагрузки, перетоков по межузловым связям, а также блоки, описывающие функционирование и развитие разных типов генерирующего оборудования [8].

В [5, 9] нами подробно рассмотрена структурная схема расчета ЕЭЭС Монголии с 9-ю узлами, в которых включены производство и потребление электроэнергии соответствующих экономико-промышленных районов и результаты моделирования потоков энер-

гии и мощностей по системообразующим линиям без учета импорта. В узлах включены распределительные сети для потребителей (I уровень иерархии), и они в явном виде не отражаются на схеме расчета. Возможные избытки мощности, которые могут быть выданы во внешнюю сеть или экспортироваться, для конкретных узлов отмечены на схеме соответствующими значениями.

При математическом моделировании режима ЕЭЭС Монголии создается необходимость обмена потоками энергии и мощностей узлов II уровня иерархии в соответствующих точках с I и III уровнями иерархии. Предназначенные для экспорта экологически чистые теплоэлектростанции, построенные на крупных угольных месторождениях, будут поставлять электроэнергию не только на внешний рынок, но и выполнять функцию повышения надежности ЕЭЭС Монголии при авариях, для покрытия дефицита мощностей при пиковых нагрузках нормального режима и нештатных условиях работы системы.

Поэтому дальнейшие исследования проводились по результатам анализа состояния предыдущего варианта, с учетом некоторых особенностей системы, в том числе особенностей избытка мощности в некоторых районах и дефицита – в других

Исследования работы ЭЭС Монголии показали, что для обеспечения нужной располагаемой мощности центральной энергосистемы требуется 418 МВт генерирующих мощностей в районах Эрдэнэт и Сайншанд

районах Центральной ЭЭС. Для этого на II уровне иерархии на основе прежних 9 узлов образованы 12 узлов (рис. 5). При этом действующие ныне перенагруженные узлы (например, 6 и 10) не указаны и выражены косвенно. А в связи с необходимостью регулирования максимальной нагрузки системы в узле 3 (Улан-Батор) размещена гидроаккумулирующая станция.

Как мы видим, данная схема несколько иная, чем схема в [5], т. е. планированные нами ВЛ-1 (между 8 и 9 узлами), ВЛ-2 (между 12 и 9), ВЛ-7 (между 3 и 9) не проходят по условиям моделирования (т. е. в них нет необходимости), а при оптимизации

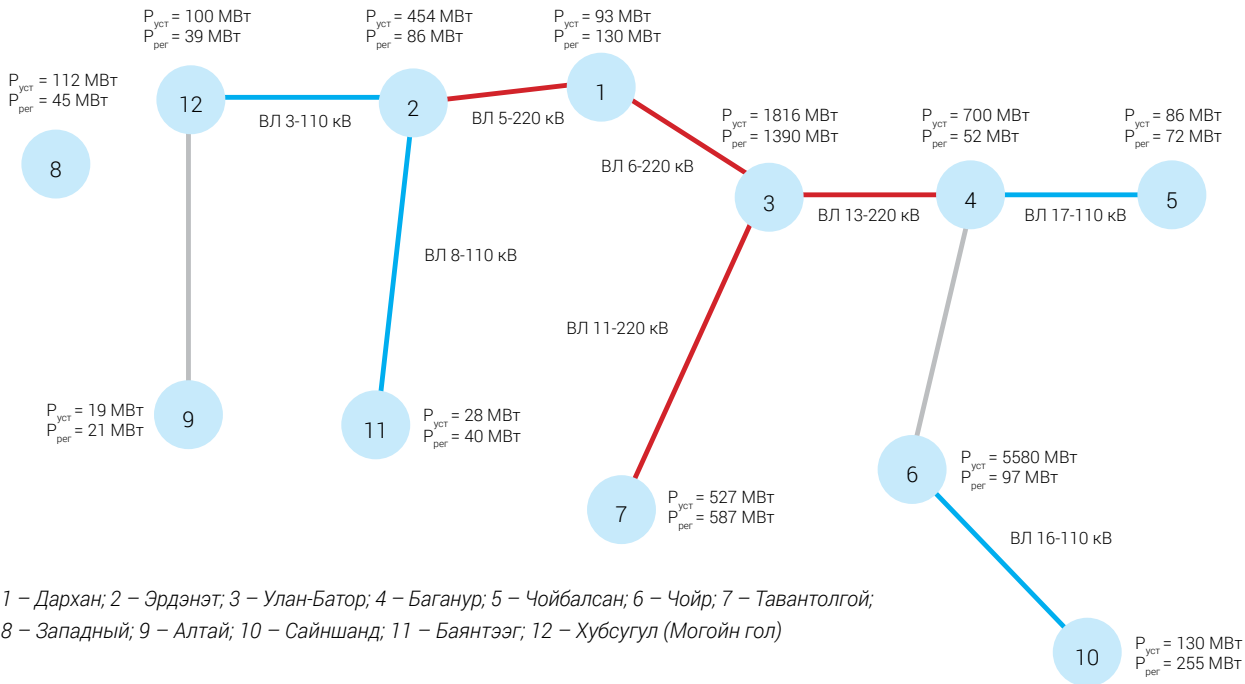


Рис. 5. Первичный вариант структуры второго уровня иерархии ЕЭЭС

выявлено, что возникает потребность ввода новых ВЛ с целью увеличения пропускной способности действующих ВЛ. Также результаты расчета показывают, что ВЛ, соединяющая узел 8 с другими узлами и представляющая собой электрическую связь Западной ЭЭС с другими узлами электроэнергетической системы, экономически и технически нецелесообразна, если не введены в эксплуатацию крупные промышленные предприятия в виде мощных горнодобывающих и других производственных, транспортных и социальных объектов.

Поэтому одной из необходимых предпосылок создания ЕЭЭС в стране является последовательное проведение правительством политики по развитию и рациональ-

ному размещению отечественной промышленной и транспортно-коммуникационной инфраструктур в виде перерабатывающих предприятий сельскохозяйственного и горнорудного сырья, углепереработки [10] и энергоагропромышленного комплекса, базирующегося на экологически чистой ТЭС [11], а также электрофицированных железных дорог [12].

Чтобы создать оптимальную модель ЕЭЭС Монголии, нами выполнен расчет на модели при едином диспетчерском управлении, основанной на определении минимальных затрат. Нарушения режима функционирования ЕЭЭС приводят к серьезным экономическим и социальным последствиям. ЕЭЭС является, с одной стороны, объектом оперативного диспетчерского управления, регулирующим выработку мощности и потоки активных мощностей взаимосвязанных энергетических систем. С другой стороны, ЕЭЭС определяет границы отдельных электроэнергетических систем (точки соприкосновения) с учетом структуры электрических сетей, основанной на расположении генерирующих мощностей, на территориальном местоположении потребителей и на их экономических характеристиках, а также с учетом расположения административных единиц.

Энергетический баланс i-ой электроэнергетической системы, входящей в состав ЕЭЭС определяется следующим уравнением:

Поставки электроэнергии в Монголию из России не только обеспечивают необходимую располагаемую мощность, но и одновременно выполняют роль резерва мощности и регулятора частоты ЭЭС

Улан-Батор

Источник: remi-meisner.livejournal.com



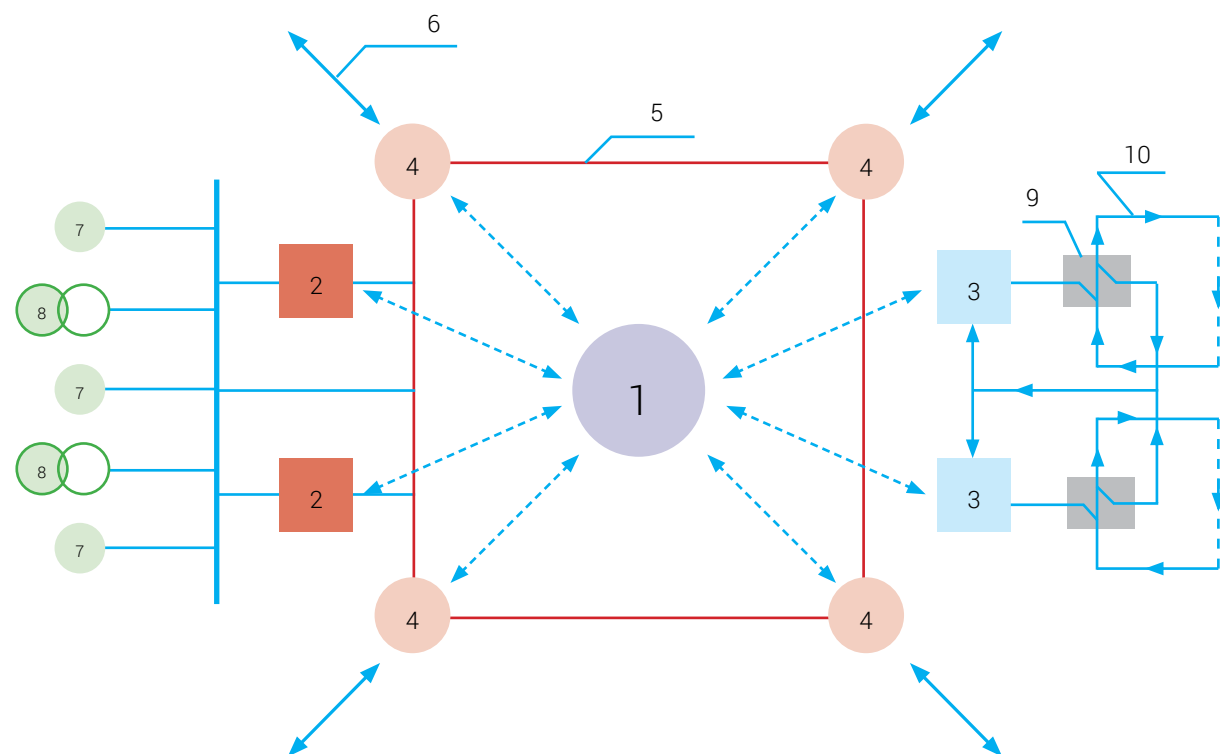


Рис. 6. Схема управления электроэнергетической системой
1 – пункт центрального диспетчерского управления; 2 – электрические станции (КЭС, ГЭС, СЭС т. д.); 3 – теплоэлектростанции (ТЭЦ); 4 – распределительные подстанции; 5 – кольцевые линии; 6 – линии, соединяющие смежные системы; 7 – распределительные сети; 8 – потребители электроэнергии; 9 – потребители теплоэнергии; 10 – тепловая сеть

$$S_{Ci} + S_{Hi} + S_{Pi} + S_{Oi} = 0, \quad (1)$$

где: S_{Ci} – суммарная мощность всех электрических станций i -й системы; S_{Hi} – суммарная нагрузка i -й системы; S_{Pi} – суммарные потери при передаче электроэнергии i -й системы; S_{Oi} – выдаваемая и/или получаемая мощность i -й системы, передаваемая по межсистемным ВЛ.

Для ЕЭЭС энергетический баланс выражается следующей системой уравнений:

$$\left. \begin{aligned} S_{C1} + S_{H1} + S_{P1} + S_{O1} &= 0; \\ S_{C2} + S_{H2} + S_{P2} + S_{O2} &= 0; \\ S_{Cn} + S_{Hn} + S_{Pn} + S_{On} &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Баланс мощностей ЕЭЭС выражается уравнением взаимосвязи включенных в нее электроэнергетических систем:

$$S_{O1} + S_{O2} + \dots + S_{Oi} + \dots + S_{On} = 0. \quad (3)$$

Для управления и регулирования выработки мощностей ЕЭЭС необходимо определить, прежде всего, минимальное значение затрат на производство электроэнергии в пределах системы. Один из способов оценки эффективности ЕЭЭС – это

ее описание функцией основных производственных затрат ($Z_{очн}$) и определение ее минимального значения ($Z_{очн} \min$) как целевой функции, определяющей эффективность системы (см. рис. 6, 7).

$$Z_{очн} = g \left(\sum_{i=1}^n S_{Ci} \right) = Z_1 + Z_2 \dots + Z_i + \dots + Z_n, \quad (4)$$

где: g – постоянный коэффициент затрат; $\sum_{i=1}^n S_{Ci}$ – суммарная мощность ЕЭЭС; Z_i – составляющие текущих эксплуатационных затрат на функционирование i -ой

За 30 лет производство электроэнергии выросло в 2 раза, до 6900,1 млн кВт·ч. 20 % электропотребления покрывается за счет импорта. Потребление на душу населения достигает 2163,1 кВт·ч/чел.



ЛЭП в Монголии

Источник: Brett Sayles / pexels.com

электроэнергетической системы (на практике 60–70 % приходится на топливную составляющую затрат).

Отсюда, чтобы управлять ЕЭЭС с минимальными экономическими затратами на топливо и наибольшим экономическим эффектом, оптимизированное управление ЕЭЭС можно выразить следующим образом:

$$\lim_{u_i} Z_{очн} \rightarrow \min, \quad (5)$$

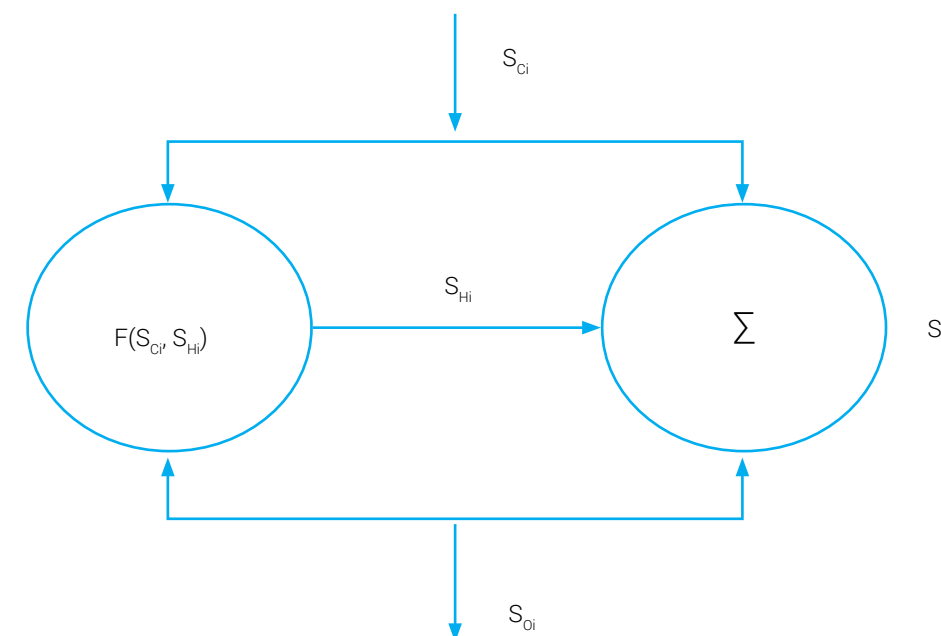
где: u_i – сигнал управления центра диспетчерского управления верхнего уровня.

Приемлемый диспетчерский контроль, управление, релейная защита, современная комплексная система автоматики обеспе-

чат надежное, стабильное функционирование ЕЭЭС. В связи с этим выдвигается задача создания интеллектуальной электроэнергетической системы, где важным является применение цифровой технологии измерения, обработки и передачи информации.

Другими словами, внедрение SCADA-систем или автоматизированных систем управления технологическими процессами, основанных на цифровых технологиях, а также информационных систем, автоматизированных систем управления информацией, таких как WAMS, WAMPAC, адаптированных к местным условиям для

Рис. 7. Схема баланса электроэнергетической системы



оперативного диспетчерского управления, являются основой создания интеллектуальной ЕЭЭС.

Обоснование формирования региональных электроэнергетических систем и анализ их показателей

Система должна учитывать наличие угольных предприятий, которые смогут полностью обеспечить спрос на топливо всех тепловых электростанций и других потребителей в течение длительного времени, например, в течение года. При этом надо учитывать возрастающее производство электроэнергии с помощью ВЭС, СЭС и ГЭС, доля производства которых составила в 2020 году 20 % и вырастет в 2030 году до 30 % [7]. Изначально исследование по выбору рациональной структуры ЕЭЭС проводилось для параметров ныне действующих пяти электроэнергетических систем регионального значения за период до 2030 г. в соответствии со среднесрочной программой развития электроэнергетики Монголии. В результате анализа выяснилось, что их целесообразно

Монголия окружена странами-лидерами потребления электроэнергии. Она связана с Россией и Китаем несколькими трассам ЛЭП разных уровней напряжения. Эти линии предназначены только для импорта

преобразовать в три системы, показанные на рис. 9. Тогда вновь образованные ЭЭС удовлетворяют требованиям по топливной базе, мощности, обеспечивающей свою маневренность, и способностям принимать диспетчерское регулирование в оптимальном режиме работы ЕЭЭС при имеющихся и предлагаемых нескольких межсистемных связях, позволяющих в достаточной степени обеспечить обмен потоков мощности и энергии с сопредельными системами в аварийных условиях.

Для расчета показателей годового потребления угля и надежности снабжения топливно-энергетическими ресурсами

Рис. 8. Схема структуры многоступенчатого управления ЕЭЭС

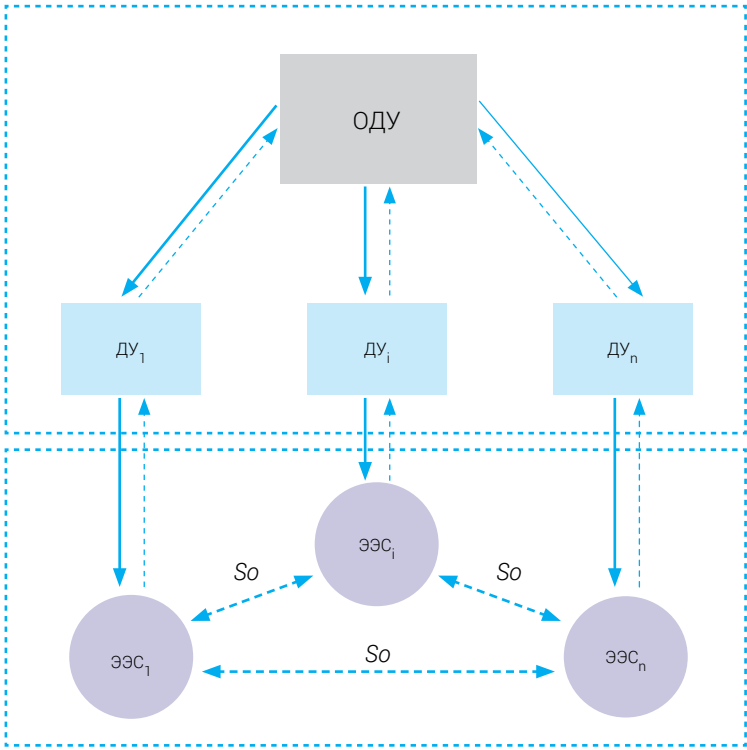


Рис. 9. Размещение и взаимосвязи электроэнергетических систем регионов Монголии (учтены 12 узлов модели)

в региональном масштабе использованы данные угольного баланса за 2019 г. по единой базе данных Национального статистического комитета. Из этой базы данных можно увидеть, что в масштабе страны за этот год добыто 55,9 млн т угля и потреблено 9,8 млн т. Из них 7,7 млн т угля потреблено на тепловых электростанциях. Оставшаяся 2,1 млн т угля использована для хозяйственных нужд населения, в основном для отопления. Потери при транспортировке и хранении составляет 661,4 тыс. т [2]. В таблице 3 приведена общая характеристика трех электроэнергетических систем.

При определении индикаторных показателей снабжения топливно-энергетическими ресурсами, оптимизацией на уровне 2019 года по выражению (10) выявлено, что к настоящему времени во всех трех системах устанавливается $\alpha_{уст.м} < 1$ (таблица 4), что подтверждает требования новых источников. А на уровне 2050 года, к концу реализации долгосрочного программного документа развития «Видение-2050» [13] данный показатель для западной и центральной электроэнергетических систем $\alpha_{уст.м} > 3$, а в юго-восточной ЭЭС к этому времени недостаточен собственный источник. Хотя предполагает

Таблица 3. Общая характеристика региональных ЭЭС Монголии

№	ЭЭС регионов	Площадь территории, км ²	Население, тыс.	Потребление электроэнергии, млн кВт·ч/лет	Доля ВИЭ, %	Потребление топлива, тыс. т			Потери топлива, тыс. т
						ТЭС	Другие	Общее потребление	
1	Западная система	415,2	408,9	858,69	55 %	0,97*	0,27	1,24	83,5
2	Центральная система	583,1	2473,2	5193,72	20 %	5,88	1,6	7,48	505,1
3	Юго-восточная система	561,1	356,4	748,44	30 %	0,85	0,23	1,08	72,8
Итого		1559,4	3238,5	6800,85		7,7	2,1	9,8	661,4

* – Учтено, что в западном регионе будет введена в эксплуатацию электростанция мощностью 100 МВт, работающая на угле

№	ЭЭС регионов	Уст. мощность, $P_{уст}$ (МВт)		Макс. нагрузка, P_{max} (МВт)		Мощность связи*, $P_{сис. \text{ связь.}}$ (МВт)		Показатели снабжения топливно-энергетическими ресурсами			
		2019	2050	2019	2050	2019	2050	$\alpha_{уст}$	2019	$\alpha_{сис. \text{ связь.}}$	2050
1	ЗЭЭС	31,1	331	58	105	16	48,2	0,54	3,15	0,81	3,61
2	ЦЭЭС	1222,9	8801	1153	1745	-	-	1,06	5,04	-	-
3	ЮВЭЭС	243	743	208	884	23,41	395,7	1,17	0,84	1,28	1,29
Итого		1497	9875	1419	2734	39,41	443,9	1,05	3,61	1,08	3,77

Таблица 4

* – Значение 2019 г. выводится из максимальной мощности, передаваемой текущей ВЛ в 2019 г., а значение 2050 г. выводится из результатов расчетов (см. рис. 7 в [9]).

ся надежное соединение её с центральной ЭЭС пятью ВЛ, и в этом случае система будет работать нормально. Кроме того, обеспечится надежность источников центральной системы, система будет работать и на внешний рынок, т. е. будет обеспечен экспорт электроэнергии.

Выводы

Сейчас в Монголии действуют пять электроэнергетических систем регионального значения. Они не могут полностью

обеспечить потребление электроэнергии своими источниками и не соответствуют классическому определению ЭЭС по структуре и принципам управления и контроля. Разработанная авторами модель ЕЭЭС Монголии исходит из требований к топливной базе, мощности, маневренности, способности принимать диспетчерское регулирование в оптимальном режиме работы ЕЭЭС и наличия нескольких межсистемных связей, регулирующих в достаточной степени потоки мощности из сопредельных систем.

ТЭЦ-4, Улан-Батор

Источник: zaorotec.ru



Khoolt Mongolia Wind Electric

Источник: cleanenergy.mn

Использованные источники

1. Социально-экономическое развитие МНР в 1989 г. Статистический сборник // Национальный статистический комитет. Улан-Батор, 1990. – 153 с.

2. Национальный статистический комитет. Статистический сборник-2019 // Улан-Батор, 2000. – 823 с.

3. Батмунх С., Бат-Эрдэнэ Б., Воропай Н.И. Развитие энергетической отрасли Монголии: I. Обзор, политика, исследование, вопросы моделирования // Энергетика и engineering. №7(197), 2020. С. 6–16 (на монгольском языке).

4. Содномдорж Д., Бат-Эрдэнэ Б., Товуудорж П. Анализ состояния энергетической безопасности Монголии // Энергетика и engineering. №8(198), 2020. С. 6–12 (на монгольском языке).

5. Бат-Эрдэнэ Б., Батмунх С., Воропай Н.И., Ханаев В.В., Драчев П.С. Развитие энергетической отрасли Монголии: II. Моделирование ЭЭС и вопрос оптимизации ее структуры // Энергетика и engineering. №2(204), 2021. С. 21–32 (на монгольском языке).

6. Мелентьев Л.А. Оптимизация развития и управления больших систем энергетики // М.: Высшая школа, 1982. – 356 с.

7. Государственная политика в области энергетики на 2015-2030 гг. Постановление Великого государственного хурала №63 от 19 июня 2015 года. Улан-Батор, 2015. – URL: <https://www.legalinfo.mn/law/details/15406>

8. Воропай Н.И., Труфанов В.В. Математическое моделирование развития электроэнергетических систем в современных условиях // Электричество. №10, 2000. С. 6–13.

9. Батмунх С., Бат-Эрдэнэ Б., Воропай Н.И. Развитие энергетической отрасли Монголии: III. Методологическая основа представления об оптимальной структуре электроснабжения регионов Монголии // Энергетика и engineering. №5(207), 2021. С. 20–30 (на монгольском языке).

10. Очирбат П. Стратегия развития минерально-сырьевого комплекса Монголии // М.: Горная книга, 2007. – 210 с.

11. Батмунх С. Экологически чистая угольная ТЭС в концепции мультикомплекса с интеграцией в электроэнергетическую систему Монголии / С. Батмунх, В.В. Саломатов, В.А. Стенников, Х. Энхжаргал: Науч. ред. В.А. Стенников // Новосибирск: Изд-во «Гео», 2019. – 253 с.

12. Государственная политика в области железнодорожного транспорта. Постановление Великого государственного хурала №32 от 24 июня 2010 года. Улан-Батор, 2010.

13. Концепция долгосрочного развития Монголии «Алсын хараа-2050» («Дальновидение-2050»), принятая постановлением Великого государственного хурала №52 от 13 мая 2020 г.

Задачи укрепления углеводородного потенциала Арктики

Tasks of strengthening the hydrocarbon potential of the Arctic

Сергей ТРОФИМОВ

Эксперт совета по развитию цифровой экономики Совета Федерации ФС РФ, к. э. н., профессор Академии военных наук
e-mail: tennisist91@mail.ru

Sergey TROFIMOV

Ph.D. in Economics, Professor of the Academy of Military Sciences, expert of the Council for the Development of the Digital Economy of the Federation Council of the Federal Assembly of the Russian Federation
e-mail: tennisist91@mail.ru

Море Лаптевы, Арктика

Источник: sdelanounas.ru



Аннотация. В статье проанализированы различные факторы воздействия на ход реализации шельфовых углеводородных проектов, требующие точечных мер государственного регулирования, внедрения уникальных технологических решений, проработки вопросов создания добывающих центров в Арктическом регионе. Разрабатываемая методология освоения углеводородных запасов арктического и континентального шельфа учитывает данные факторы в своей совокупности и направлена на укрепление промышленного потенциала Арктического региона. Показана значимость долгосрочного баланса интересов государства и нефтегазовых компаний при освоении углеводородных запасов, отражены ряд значимых аспектов обеспечения национальной и энергетической безопасности. *Ключевые слова: нефтегазовый комплекс, нефтегазовый проект, государственное регулирование, арктический шельф, импортоопережение, энергетическая безопасность.*

Abstract. The article analyzes various factors influencing the implementation of offshore hydrocarbon projects, requiring targeted measures of state regulation, the introduction of unique technological solutions, and the study of issues of creating production centers in the Arctic region. The developed methodology for the development of hydrocarbon reserves of the Arctic and continental shelf takes into account these factors in their totality and is aimed at strengthening the industrial potential of the Arctic region. The importance of a long-term balance of interests of the state and oil and gas companies in the development of hydrocarbon reserves is shown, a number of significant aspects of ensuring national and energy security are reflected. *Keywords: oil and gas complex, oil and gas project, government regulation, Arctic shelf, import oversight, energy security.*



Предприятия нуждаются в планомерных регулирующих мерах с пониманием внутренней специфики реализации конкретного арктического проекта

Введение

Освоение Арктического региона учитывает множество связанных факторов воздействия, включая как естественные, так и сопутствующие, например, состояние промышленного производства. Первоочередными из них выступают экономические мотивы разработки углеводородных месторождений, обусловленные уровнем рентабельности проектов, вопросами фи-

нансирования, геологическими, природно-климатическими условиями и др. Это предполагает планирование и прогнозирование экономических результатов деятельности проектов при различных сценарных условиях цены на нефть, бюджетно-налоговой политики, мирового производства и потребления энергоносителей, технологических возможностей и др. Их реализация способна принести комплексный экономический эффект, выраженный в стабильном внутреннем энергообеспечении, экспорте добываемого сырья, развитии промышленных производств, инфраструктуры, технологий, связанных отраслей. Полнота геологического изучения недр содействует минимизации рисков; в свою очередь государственное регулирование призвано повысить экономическую результативность разработки арктических запасов.

Одним из факторов экономического устойчивого развития нефтегазовых компаний Арктического региона выступают вопросы воспроизводства минерально-сырьевой базы, наличие долгосрочных контрактов по налаженным каналам поставок. Разрозненные факторы связываются в целостную составляющую, позволяющую объективно оценить целесообразность разработки конкретного месторождения.



Заполярное месторождение

Источник: «Газпром»

Меры направляются на устранение деструктивных элементов, максимизацию экономических результатов от благоприятно воздействующих факторов. Технологические возможности разработки месторождений являются одним из основополагающих аспектов развития региона.

Принятие регулирующих мер должно учитывать различные условия реализации нефтегазовых проектов. Разработка арктических месторождений обычно обусловлена уровнем доказанных запасов, их геологической изученностью, природно-климатическими факторами, вытекающими из них дополнительными затратами, становлением перерабаты-

вающих производств и маршрутов сбыта. Потребность в капиталовложениях предполагает использование передовых иностранных технологий, комплексное социально-экономическое развитие районов функционирования, осуществление внутреннего контроля во всех сегментах нефтегазовых производств. Предприятия нуждаются в планомерных регулирующих мерах, предполагающих понимание внутренней специфики реализации конкретного проекта. В первую очередь происходит освоение прибрежных залежей с благоприятными условиями добычи с учетом анализа различных векторов воздействия, включая долгосрочные каналы поставок, обеспечение национальной и энергетической безопасности.

Технологические решения

Уникальные технологии в сочетании с принимаемыми управленческими мерами призваны существенно сократить производственные затраты, воздействовать на социальную составляющую приарктических районов, повышение эффективности пользования недр. Одним из направлений регулирующих решений может являться создание крупных нефтегазодобывающих центров в регионе. Это способно много-

Меры регулирования нефтегазового комплекса должны быть направлены на экономическое и административное стимулирование освоения недр с приемлемыми результатами для государства

кратно укрепить итоги экономической деятельности функционирования предприятий. Разработка арктических месторождений предполагает наличие финансовых ресурсов, эффективных мер геологоразведки, необходимого уровня развития связанных отраслей и производств.

Использование цифровых технологий призвано привнести значительный синергетический эффект при учете факторов роста требуемых для разработки месторождений инвестиций. Кроме того, это предполагает невозможность отсрочки на десятилетия промышленного освоения поставленных на баланс нефтегазовыми компаниями лицензионных участков в Арктике, повышает качество прогнозирования экономических результатов реализации арктических проектов. Значимым фактором остается обеспечение технологической безопасности, следование заданным методологическим принципам, подходам и методам, позволяющим принимать прагматичные регулирующие решения, в т. ч. в рамках международных вопросов освоения арктического и континентального шельфа.

Ключевые показатели разработки арктических запасов могут подлежать существенной корректировке в связи с измене-

Айсберг, море Лаптевых
Источник: finvalcenter.net



Уникальные технологии в сочетании с управленческими мерами призваны существенно сократить производственные затраты, воздействовать на социальную составляющую приарктических районов

нием конъюнктуры. Это находит отражение в уровне поступлений нефтегазовых доходов бюджета, размере требуемых инвестиций, экономических результатов деятельности в целом. Меры государственного регулирования нефтегазового комплекса должны быть направлены на экономическое и административное стимулирование освоения недр с приемлемыми экономическими результатами для государства, осуществляющего частичное бюджетное финансирование производств. Изучаются возможности привлечения зарубежных корпораций к реализации высокотехнологичных проектов, что позволяет увеличить экономическую отдачу инвестиций, содействовать совершенствованию инфраструктуры, развитию направлений сбыта.

Государство может устанавливать очередность реализации проектов, что косвенно содействует комплексному развитию Арктического региона ввиду заинтересованности предприятий во введении месторождений в промышленную эксплуатацию. Разработка шельфовых запасов требует производства новейших технологических решений, частичное финансирование которых может быть осуществлено за счет средств ФНБ. Устойчивость экономической системы содействует укреплению собственного потенциала, максимизации экономического эффекта от освоения месторождений; происходит взаимодополнение внутренних механизмов развития и мер государственной поддержки с учетом интересов и позиций предприятий. Данные меры призваны стимулировать промышленное производство в нефтегазовом комплексе, строительство и технологическое обновление специализированного флота, то есть загрузить имеющиеся мощности, обеспечить занятость населения.

Прогнозы перспектив развития арктического шельфа должны охватывать полный комплекс аспектов воздействия, в том числе в части возможной разрозненности действий государства и бизнеса

Методологические аспекты освоения углеводородных запасов

Прогнозы перспектив развития арктического шельфа должны охватывать полный комплекс аспектов воздействия, в том числе в части возможной разрозненности действий государства и бизнеса, широкого диапазона получаемых прогнозных значений. Соответственно, это приводит к уменьшению случайной составляющей. Государственное регулирование призвано повысить результативность недропользования, освоения запасов шельфа, развития двусторонних связей. Подобными факторами в первую очередь выступают вопросы финансового обеспечения и наличия уникальных научно-технических решений. В частности, учитываются увеличение потребления углеводородных ресурсов из нетрадиционных источников, что отражается в структуре национального топливно-энергетического баланса, корректирует степень воздействия различных показателей. Кроме того, в мире все активнее набирают тренды на повышение энергоэффективности производств, расширение направлений поставок арктических углеводородов, изменение ценовых, финансовых факторов, проведение политики импортоопережения в нефтегазовом комплексе, направленной на укрепление национальной нефтегазовой промышленности.

Системно-функциональный подход предполагает учет непрогнозируемых факторов воздействия, способных существенно скорректировать исходные данные и возможные результаты. В свою очередь это призвано повысить эффективность недропользования, принимае-

мых мер государственного регулирования нефтегазового комплекса в целом. Экономическое развитие государства, следовательно, рост национального и мирового потребления энергии, является одним из факторов, показывающим необходимость разработки арктических запасов при стабильно высоких ценах на нефть. Предприятия интересуют полный учет различных видов рисков, разработка мер по их нейтрализации, направленных на повышение эффективности недропользования, выработка предложений по мерам государственной поддержки, экономическому и техническому стимулированию реализации шельфовых проектов. Другими словами, предприятия должны быть защищены от колебаний внешней конъюнктуры. Это характерно для валютного и денежно-кредитного факторов, которые призваны содействовать развитию внутренних промышленных производств. Кроме того, множество аспектов содействуют существенному увеличению стоимости арктических проектов в ходе их реализации. Таким образом, важен учет как текущей конъюнктуры, так и перспектив развития. Ключевым фактором выступает возможность своевременного привлечения финансовых ресурсов, а также тонкая настройка механизма регулирующего воздействия, позволяющая точно корректировать формы и инструменты государственного регулирования для эф-

Урал-4320 (тягач) на зимнике

Источник: ysia.ru



Мост через реку Юрибей

Источник: «Газпром»

фективной реализации проектов и достижения обозначенных целевых ориентиров.

Удовлетворение внутреннего энергетического спроса содействует ускорению темпов экономического развития, наращиванию промышленного потенциала. Максимальный охват факторов отраслевого воздействия способствует повышению эффективности реализации арктических проектов, может учитываться для связанных направлений и производств, воздействовать на социально-экономические показатели. Системно-функциональный подход предполагает внедрение технологических решений, становление экономической платформы, благоприятствующей разработке арктических месторождений, рациональному природопользованию, бесперебойности поставок, отсутствию структурных перекосов, выбору наиболее инвестиционно привлекательных маршрутов. Предъявление повышенных технологических требований обусловлено вопросами экологической безопасности; в свою очередь глубина переработки добываемого сырья призвана соответствовать мировым экологическим стандартам. Важнейшим фактором развития является изучение структуры потребления на внутреннем и мировом рынках, создание развитой институциональной системы.

Производства и их инфраструктура в Арктическом регионе требуют применения особого методологического инструментария, отлаженных взаимодействий между всеми элементами механизма государственного комплекса, в т. ч. в отношении континентальной части и прибрежных районов.

Разработка месторождений арктического шельфа предопределяется стратегической значимостью региона, вопросами обеспечения национальной и энергетической безопасности, внутренними и внешними факторами воздействия. Создание крупных добывающих центров по кластерному типу связывает различные отрасли

Разработка месторождений Арктики определяется стратегической значимостью региона, вопросами обеспечения энергетической безопасности, внутренними и внешними факторами воздействия



Енисейский залив

Источник: arnorilsk.timepad.ru

и производства, укрепляет существующие и потенциальные взаимодействия. Ключевым аспектом разработки запасов является заключение долгосрочных экспортных контрактов, что позволяет осуществить загрузку действующих мощностей, обеспечить занятость местного населения, оказать комплексный эффект для приарктических субъектов Федерации и национальной экономики. Развитая институциональная система содействует притоку дополнительных инвестиций, прагматичному взаимодействию государства и нефтегазовых компаний, созданию уникальных технологических решений, осуществленных благодаря кооперации различных предприятий, становлению новых перерабатывающих и химических производств, совершенствованию производственно-сбытовых маршрутов, ускорению введения месторождений в промышленную эксплуатацию.

Предприятия заинтересованы в стабильности правовой базы, проводимой бюджетно-налоговой политики, технологической безопасности производственных процессов, своевременных поставках оборудования. Фактически, разработка арктических запасов содействует совершенствованию всех сегментов нефтегазового комплекса, целевых программ в условиях благоприятного инвестиционного клима-

та; при этом учитывается возможность корректировки направлений развития. Происходит кооперация крупнейших отраслевых компаний и относительно небольших предприятий, осуществляющих подрядные работы, консультационные услуги, обеспечивающие внедрение цифровых технологий, модернизацию производственных мощностей и др.

Следует выделить взаимосвязи с подрядными и сервисными компаниями, выполняющими отдельные виды работ и услуг, которые обычно располагаются в регионах присутствия, содействие строительству новых предприятий в Арктическом регионе, направленных на удовлетворение

Предприятия заинтересованы в стабильности правовой базы, проводимой бюджетно-налоговой политики, технологической безопасности производства, своевременных поставках оборудования

Разработка шельфа сопряжена с расширением промышленного производства, является фактором обеспечения экономической устойчивости поставщиков, служит драйвером технологического развития

потребительского спроса. Однако в условиях удорожания оборудования, материалов и их доставки в отдельных случаях могут требоваться меры государственной поддержки, участие в различных проектах и применение льгот. Первоочередными требованиями выступают соответствие стандартам, обеспечение производственной безопасности, наличие соответствующего опыта. Объединение региональных компаний в рамках различных отраслевых групп содействует повышению эффективности реализации проектов. Разработка арктических запасов способствует укреплению

Енисейский залив

Источник: pixu.org



внутренних производств, сферы услуг, ускорению и повышению устойчивости взаимодействий, совершенствованию производственно-сбытовой цепи в связанных направлениях в результате синергетического эффекта. Происходит накопление внутренних процессов, установление благоприятного инвестиционного климата, институциональных и инфраструктурных условий, что обеспечивает прорывные темпы экономического роста, планомерное увеличение потребления углеводородов, отражается на уровне социальных показателей, притоке капиталовложений в приарктические регионы.

Укрепление промышленного потенциала Арктического региона

Разработка шельфовых месторождений сопряжена с расширением промышленного производства, является фактором обеспечения экономической устойчивости поставщиков, служит драйвером технологического развития. Она напрямую связана с деятельностью крупнейших российских нефтегазовых корпораций, финансовых организаций, отражается на динамике государственных экономических показателей,

их дальнейших перспектив, механизме государственного регулирования нефтегазового комплекса в целом, при этом должна соответствовать внутреннему спросу, изменениям в национальной экономике. Одним из направлений разработки запасов выступает развитие сопряженных отраслей, наращивание промышленного потенциала и резервов, позволяющие повысить устойчивость нефтегазового комплекса, соответствовать общенациональным и государственным целям и задачам в области энергетики. Принятие управленческих решений требует гибкости в используемых подходах, адаптации к изменениям условий и потребительских предпочтений, действий на их опережение.



Байдарацкая губа
Источник: lakka-sails.ru

Относительно некрупные предприятия также заинтересованы в осуществлении капиталовложений в Арктический регион. Для этого необходимо повысить прозрачность существующих условий участия, объективность мер государственной поддержки, справедливость лицензирования, распределения перспективных участков, результативность недропользования. Это содействует созданию высокотехнологичных производств, отвечающих передовым мировым стандартам качества. Государственное регулирование призвано обеспечить реализацию имеющегося потенциала, в том числе за счет перепрофилирования отдельных предприятий, исполнения эко-

логических требований. Это относится к антитимонопольной форме регулирования, так как позволяет продвигать инновационные решения небольших компаний, требующие высокой квалификации кадров, проведения всестороннего анализа, осуществлять модернизацию производственных мощностей и их дальнейшую загрузку, содействовать развитию нефтегазового сервиса, производству оборудования, выполнению технологически сложных работ и процессов. Перепрофилирование предприятий из других отраслей может являться полным или частичным.

Наращивание промышленного потенциала приарктических районов происходит в т. ч. за счет финансирования связанных направлений, энергообеспечения населения, улучшения социально-экономических показателей, бесперебойного оснащения нефтегазовых проектов производственными ресурсами. Значимым аспектом повышения эффективности разработки месторождений выступает создание дополнительных нефтегазохранилищ. Регулирующие меры направляются на увеличение глубины переработки добываемого сырья, что обуславливает создание нефтегазовых центров в регионе, в результате которых извлекаются конкурентные преимущества Северного морского пути, происходят связывание арктических субъектов, создание новых производственно-сбытовых цепочек поставок, развитие инновационно-технологических отраслей и предприятий.

В приарктических субъектах Федерации осуществляются изменения в структуре ВРП, взаимодействия с другими регионами, создаются сервисные компании, что позволяет нарастить экономический потенциал, обеспечить загрузку промышленных предприятий, повысить квалификацию и профессиональные компетенции кадровых ресурсов для предприятий нефтегазового комплекса. Фактически, их комплексное развитие предполагает становление новых транспортно-логистических маршрутов. Первоочередным направлением выступает разработка месторождений континентальной части, методологически сформированная на системно-функциональном подходе государственного регулирования.

Государство предъявляет повышенные требования к качеству импортируемых зарубежного оборудования и технологий, что позволяет находить передовые решения в части разработки месторождений, об-

разовывать внутренние стратегические взаимосвязи между предприятиями, выполняющими часть работ и услуг. Они органично встраиваются в производственно-сбытовые процессы, взаимодействуют с компаниями-импортерами для российского нефтегазового комплекса. При разработке арктических месторождений анализируется полнота данных и достоверность информации в отношении отечественных предприятий, их технологических возможностей, экономического состояния, гибкости в принятии управленческих решений, соответствии заявленным стандартам качества. Часть требуемых работ выполняется посредством предоставления государственного заказа. Эффективность реализации шельфовых проектов проистекает из выпуска требуемой промышленной продукции, в т. ч. в рамках объединения ресурсов и действий нескольких предприятий, прагматичной организации их деятельности.

Анализируются относительно благоприятные условия добычи углеводородов в сравнении с большинством зарубежных государств, необходимость повышения качества прогнозирования, а также потребности регионов и местного населения. Свободные финансовые ресурсы могут направляться на проведение дополнительных геологоразведочных работ, обустройство месторождений, внедрение цифровых технологий, развитие инфраструктуры.

Байдарацкая губа
Источник: risk.ru



Относительно некрупные предприятия также заинтересованы в осуществлении капиталовложений в Арктический регион. Для этого необходимо повысить прозрачность существующих условий участия

Промышленная продукция нефтегазового комплекса может поставляться в зарубежные страны, отвечать передовым мировым стандартам, позволяет участвовать российским нефтегазовым компаниям в иностранных проектах. Государственное регулирование призвано стимулировать разработку инновационных технологических решений отечественными предприятиями, обеспечить их загрузку, провести обновление промышленных фондов. Кроме того, это позволяет сократить срок окупаемости арктических проектов и повысить их инвестиционную привлекательность. Совместное участие нескольких предприятий из различных сегментов нефтегазового комплекса и отраслей экономики, финансовых, научных организаций, институтов и объединений благоприятным образом отражается на эффективности реализации арктических проектов, содействует обмену технологическими решениями, повышению результативности добывающих центров, обеспечению комплексного социально-экономического развития регионов, совершенствованию управленческих подходов предприятий, расширению инновационной составляющей их деятельности. В совокупности это отражает повышение вероятности практической реализации крупнейших проектов, привлечение к участию в разработке ведущих иностранных предприятий, совершенствование производственно-сбытовых цепочек, укрепление взаимодействий государства и бизнеса по значимым отраслевым вопросам.

Становление подобных добывающих центров важно осуществлять с учетом накопленного мирового опыта, обеспечения технологической и экологической безопасности, образования синергии от совместных взаимоотношений. Проис-

Задача государства в Арктике сводится к увязке деятельности различных предприятий, реализации сценарного подхода в отношении проектов, всестороннего анализа внутренних и внешних процессов

ходит содействие внедрению уникальных решений, нацеленных на долгосрочное применение, совершенствование механизма государственного регулирования нефтегазового комплекса, улучшение инвестиционного климата и социально-экономической ситуации. Использование зарубежных технологий также может способствовать ускорению темпов экономического роста благодаря цифровым решениям, научным открытиям из различных сфер. Экспорт глубокой переработки стимулирует создание новых производств, обладающих высокой рентабельностью, совместных предприятий по выпуску продукции.

Вахтовый посёлок, Салмановское
нефтегазоконденсатное месторождение

Важна выработка методологического инструментария и критериев результативности реализации шельфовых проектов, в т. ч. с учетом объединения различных организаций, институтов. То есть происходит совместное воздействие государства и нефтегазового бизнеса, принятие регулирующих, управленческих и технологических решений на всех этапах производственно-сбытовых процессов, привлечение сервисных, строительных и транспортных организаций, их прагматичный выбор, отражающийся в общей результативности функционирования, охвате связанных отраслей. При этом осуществляется оценка регулирующего воздействия, разрабатываются предложения по его дальнейшему совершенствованию, в т. ч. в части социального развития. Технологическая составляющая, формирование поэтапных действий и прогнозирование имеют ключевое значение в начале разработки. Задача государства в данном аспекте сводится к прагматичной увязке деятельности различных предприятий, осуществлению сценарного подхода в отношении проектов, всестороннего анализа внутренних и внешних процессов, факторов воздействия, развитию связанных направлений.

Промышленное производство в нефтегазовом комплексе уникального вы-

Источник:
talspecstroj.ru



Поселок Сабетта, Ямал

Источник: newurengoy.ru

сокотехнологичного оборудования, может являться важной экспортной статьёй доходов. Изучение передового управленческого опыта в части создания центров нефтегазовой добычи предполагает задействование имеющихся ресурсов и возможностей. Одной из задач государственного регулирования в этой сфере выступает наращивание промышленного и технологического потенциала, используемого как для удовлетворения внутреннего спроса, так и при внешних поставках. Централизованное комплексное развитие нефтегазовых предприятий и связанных с ним отраслей позволяет вырабатывать прагматичные управленческие решения, разработки месторождений арктического и континентального шельфа.

Технологические решения могут поступать из непрофильных отраслей и организаций, затем эффективно внедряться в существующие производственные процессы, укреплять экономические возможности проектов, выходить на глобальный промышленный и нефтегазосервисный уровень. Улучшение качества проводимой антимонопольной политики, прагматичная внешнеэкономическая деятельность, в том числе в части заключения масштабных долгосрочных контрактов, распространяются на основные регионы-потребители углеводородов, технологий и промышлен-

ной продукции. Значительный объем заказов получают строительные предприятия.

Комплексная разработка арктических запасов требует технологического опыта, ресурсов и возможностей предприятий, уникальных компетенций специалистов, инновационных цифровых решений. Государство должно учитывать интересы относительно небольших компаний, что позволяет осваивать углеводородные запасы, содействовать развитию технологических производств, устранению рисков в рамках различных аспектов осуществления проектов. Отдельные организации или подразделения компаний осуществляют мониторинг реализации планов и прогно-

Технологические решения могут поступать из непрофильных отраслей, эффективно внедряться в производство, укреплять экономические возможности проектов, выходить на мировой уровень

зов развития, технологического состояния уже осуществленных проектов. Разработанные контрольные мероприятия могут быть применимы к нескольким проектам, способствуют наращиванию экономического эффекта, совершенствованию механизма государственного регулирования, предпринимаемых государственных действий, улучшению инвестиционного климата, формированию новых организаций, обладающих необходимыми ресурсами.

Выводы

Деятельность нефтегазовых предприятий должна быть направлена на освоение региона, социально-экономическое развитие приарктических субъектов Федерации, укрепление энергетической безопасности и национальной экономики в целом. Соответственно, важно выделить ключевые цели и задачи при реализации нефтегазовых проектов, обеспечить решение возникающих вопросов, усовершенствовать маршруты поставок во избежание внутренних противоречий и разрозненных действий между субъектами экономической деятельности. Предприятия интересуют справедливое распределение лицензионных участков, совершенствование нормативно-правовой базы в части недропользования, что позволяет учитывать долгосрочные интересы государства и бизнеса, ориентироваться на стратегическую перспективу. Значимым аспектом выступает развитие нефтегазохимических производств при сохранении экологической среды и уникального природного разнообразия.

Органы государственной власти призваны координировать реализацию шельфовых нефтегазовых проектов, содействовать развитию внутренних производств,

Деятельность нефтегазовых предприятий должна быть направлена на освоение региона, социально-экономическое развитие Арктики, укрепление энергетической безопасности и национальной экономики



Петропавловск-Камчатский
Источник: KRONK / my.mail.ru

совершенствовать регулирующий и методологический инструментарий, применять существующие резервы для максимизации долгосрочного социально-экономического эффекта. Особое внимание уделяется планомерному исполнению документов стратегического развития в нефтегазовом комплексе, развитию институтов и нормативно-правовой базы в части разработки месторождений арктического и континентального шельфа для реализации экономического и инвестиционного потенциала. Для достижения указанных целей разработаны ряд отраслевых документов, в частности генеральные схемы развития нефтяной и газовой отраслей до 2035 г.¹

Распределение функциональных обязанностей между государственными министерствами и ведомствами содействует сокращению неэффективных бюджетных расходов, повышению эффективности недропользования, в том числе посредством прагматичного правового обеспечения, позволяет активизировать геологоразведку, в результате которых открытые место-

¹ Энергетическая стратегия России на период до 2035 г. [Электронный ресурс]: распоряжение Правительства РФ от 9 июня 2020 г. № 1523-р // СПС «КонсультантПлюс»; О генеральной схеме развития газовой отрасли на период до 2035 г. [Электронный ресурс]: Правительство Российской Федерации. Режим доступа: <https://government.ru/meetings/42164/decisions> (дата обращения: 26 авг. 2021); О генеральной схеме развития нефтяной отрасли на период до 2035 г. [Электронный ресурс]: Правительство Российской Федерации. Режим доступа: <https://government.ru/meetings/42164/decisions> (дата обращения: 26 авг. 2021).

рождения ставятся на государственный баланс. Также это способствует привлечению дополнительных капиталовложений в различные сегменты нефтегазового комплекса, включая глубокую нефтегазопереработку, научно-методологическому обоснованию реализации конкретных проектов, развитию инфраструктуры и промышленных производств в связанных секторах экономики, включая судостроение, расширение транспортных потоков и направлений поставок, импортоопережение в нефтегазовой промышленности.

Производственные предприятия получают различные меры государственной поддержки, в т. ч. за счет предоставления межбюджетных трансфертов. Кроме того, они заинтересованы в льготных условиях получения заемного капитала на долгосрочную перспективу ввиду продолжительных сроков окупаемости нефтегазовых проектов, находящихся на государственном экологическом контроле. Одной из задач государства выступают недопущение срыва сроков их реализации, стимулирование предприятий к проведению дополнительных ГРП и разработке месторождений, комплексному освоению лицензионных участков, получение доступа ряда российских нефтегазовых компаний к углеводородным ресурсам зарубежного арктического шельфа, ставящего своей целью повышение эффективности недро-

Вертолет Ми-8 в Арктике



Источник: artfile.ru

Государство должно учитывать интересы небольших компаний, что позволяет осваивать углеводородные запасы, содействовать развитию технологических производств, устранению рисков проектов

пользования. Особое внимание уделяется качеству прогнозирования в нефтегазовом комплексе: на органы государственной власти возлагаются ряд значимых функций в части выработки форм и инструментов по разработке шельфовых запасов, ускорению рассмотрения и вступления в силу отраслевых нормативно-правовых актов. Документы стратегического развития могут подразумевать реализацию государственных ведомственных и целевых программ с установлением ориентиров и сроков исполнения, что позволяет реализовать экономический и ресурсный потенциал, расширить технологические возможности российских предприятий, отразить баланс интересов государства и нефтегазового бизнеса.

Арктика 2050: доктринальные перспективы развития

Arctic 2050: Doctrinal Development Prospects

Анатолий БРЕХУНЦОВ
Директор НТЦ МНП «Геодата»
e-mail: ntc@mnpgedata.ru

Anatoly BREKHUNTSOV
Director of LLC MNP «Geodata»
e-mail: ntc@mnpgedata.ru

Артур МУЛЛИН
Зам. начальника отдела ресурсной
базы УВС НТЦ МНП «Геодата»
e-mail: ntc@mnpgedata.ru

Arthur MULLIN
Deputy Head of the Resource Base
Department LLC MNP «Geodata»
e-mail: ntc@mnpgedata.ru

Юрий ПЕТРОВ
Руководитель службы обработки
информации НТЦ МНП «Геодата»
e-mail: ntc@mnpgedata.ru

Yuri PETROV
Head of Information Processing and
Maintenance Service LLC MNP «Geodata»
e-mail: ntc@mnpgedata.ru

Григорий ПРОСКУРИН
Начальник отдела баз данных НТЦ
МНП «Геодата»
e-mail: ntc@mnpgedata.ru

Grigory PROSKURIN
Head of Database Department
LLC MNP «Geodata»
e-mail: ntc@mnpgedata.ru

Озеро Таймыр

Источник: arnorilsk.ru



Аннотация. Сегодня Арктика остается бесхозной. Развитие территории должно быть комплексным. Необходимо создать Министерство по развитию и освоению Арктики. Оно должно оценить все потребности и риски территорий, находящихся в северной части страны. В Арктике очень хрупкая экосистема. Связано с климатическими условиями и влечет ряд ограничений в освоении. Здесь своеобразные социальные отношения между населением и добывающими предприятиями. Приведены характеристики мероприятий по освоению, предложены основные пути стратегического развития и выявлены основные «нервные» узлы.

Ключевые слова: Арктическая зона, комплексное развитие территории, хрупкая экосистема, добыча полезных ископаемых, транспортная инфраструктура, гидростолы.

Abstract. Today the Arctic remains ownerless. The development of the territory should be comprehensive. It is necessary to create a Ministry for the Development and Development of the Arctic. It must assess all the needs and risks of the territories located in the northern part of the country. The Arctic has a very fragile ecosystem. It is associated with climatic conditions and entails a number of restrictions in development. There are peculiar social relations between the population and the mining enterprises. The characteristics of development activities are given, the main ways of strategic development are proposed, and the main «nerve» nodes are identified. Keywords: Arctic zone, complex development of the territory, a fragile ecosystem, mining, transport infrastructure, hydroposts.

Для развития новых технологий в Арктике необходимо стимулировать всю цепочку от научно-исследовательских работ до логистики и производства

Исследование Арктической зоны Российской Федерации имеет в современных реалиях огромное значение. Указом президента «О сухопутных территориях Арктической зоны Российской Федерации» от 05.03.2020 г. № 164 обозначены субъекты, относящиеся к Российской Арктике. Так же 26.10.2020 г. введен указ «О стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года» № 645. Целью данной работы является выделение основных доктринальных направлений развития Арктической зоны Российской Федерации до 2050 г.

Площадь Арктической территории Российской Федерации равна 9,7 млн квадратных километров, что составляет 56,7 % от общей площади государства. А численность населения достигает всего 2,6 млн человек.

В последние годы Россия наращивает свое присутствие в Арктике – регионе, перспективном сразу в нескольких направлениях. Во-первых, полярные территории богаты природными ресурсами. Во-вторых, через Арктику пролегает Северный морской путь – кратчайшая морская магистраль из Европы в Азию. Третье стратегическое направление – оборона северных рубежей России.

Природные ресурсы Арктической территории РФ – это в первую очередь нефть, газ и твердые полезные ископаемые, расположенные и на сухопутной части, и на шельфе арктических морей.

Ряд компаний уже приступил, либо декларировал свои планы к освоению природных богатств Арктической территории. Однако, этим планам вряд ли суждено сбыться, если государство не будет оказывать свою помощь и поддержку, особенно в развитии транспортной инфраструктуры.

Одной из приоритетных задач в освоении Арктической зоны Российской Федерации является развитие и совершенствование транспортной инфраструктуры.



Порт Сабетта, Ямал
Источник: СК «Мост»

На сегодняшний день практически отсутствуют отечественные технологии, необходимые для освоения Арктических территорий, что сдвигает разработку шельфовых месторождений углеводородов на дальнюю перспективу, за 2030–2040 гг. В настоящее время экономическая целесообразность добычи углеводородов на шельфе Арктики, при отсутствии современных технологий, оборудования, развитой инфраструктуры в сложнейших климатических условиях дело крайне затратное. Подобные проекты могут окупиться при стоимости нефти около 100 долларов за баррель.

Форсировать добычу углеводородов на шельфе не стоит. Выходить на шельф нужно подготовленными.

Для развития новых технологий и применения их в Арктике необходимо стимулировать всю цепочку от научно-исследовательских работ и создания опытных образцов до логистики и производства.

Развитие региона процесс комплексный. Для рационального и полноценного освоения необходимо изучить не только имеющиеся на Арктической территории ресурсы, но и ресурсы, поступающие сюда из других регионов. По такой логике необходимо изучать, в том числе Обь-Иртышский водный бассейн, обеспечивающий речное сообщение. Исток Иртыша начинается в высокогорьях Монгольского Алтая с последующим протеканием через территорию автономного округа Китая. Сегодня здесь создается опорный промышленный район западной части страны, что приводит к кратному увеличению антропогенного воздействия. Ниже по течению – промышленная зона Казахстана. Таким образом, перед тем как появиться на территории Тюменской области в Ишимском районе, река протекает через территории трех государств, а водосбор захватывает и Монголию. В таких условиях многопользовательского режима целесообразно внедрение общих межгосударственных правил бассейнового управления, пример-аналог уже создан в формате двухстороннего управления бассейном р. Урал между Россией и Казахстаном. Необходимо отметить, что, в отличие от двухстороннего регулирования правоотношений в области природопользования реки Урал, ситуация в Обь-Иртышском водном бассейне является менее сбалансированной. России отводится роль крайнего звена в водопотоке последнего створа, на котором измеряется сброс в Северный Ледовитый океан. Наибольшее опасение здесь вызывает стратегическая линия Китая, активно наращивающего промышленный потенциал на северо-западе страны. Также необходимо учесть наличие переплетений политических, инфраструктурных, природно-климатических рисков, реализация каждого из которых приводит к существенным материальным затратам на последующую ликвидацию.

Согласно дорожной карте глобальной трансформации энергетики до 2050 года, увеличение использования возобновляемых источников энергии может оказаться решающим в достижении ключевых климатических целей к этому сроку. Международное агентство по возобновляемым



Рис. 1. Обь-Иртышский водный бассейн

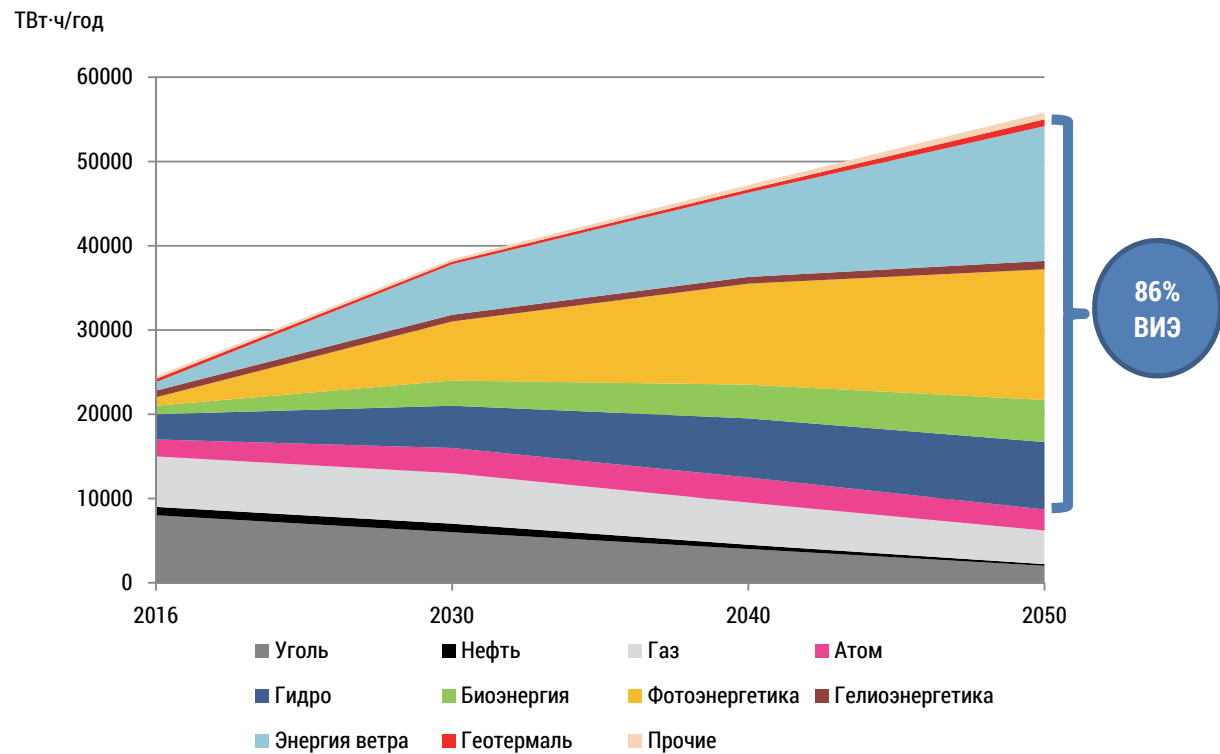


Рис. 2. «Зелёная» энергетика – 2050

источникам энергии (IRENA) выделяет эффективные варианты выполнения странами климатических обязательств [8]. Дорожная карта подразумевает переход на возобновляемые источники энергии. Так из рис. 2 видно, что в 2016 году основная доля в выработке энергии была у угля, второе место занимал газ и третье – нефть. После этих основных ресурсов идет атомная энергия. Все остальные виды энергии занимают меньшую долю в энергетике. В перспективе всё должно стать диаметрально противоположно. На первые места должны выйти энергия ветра, фотоэнергетика, биоэнергия и гидроэнергия.

Иртыш начинается в высокогорьях Монголии, течет через промзоны Китая и Казахстана. То есть, перед Россией река проходит через территории трех государств с высокой антропогенной нагрузкой

тоэнергетика, биоэнергия и гидроэнергия. Главенствующие сегодня ресурсы должны стать если не исключениями, то свестись к минимуму. При переходе на такие виды энергии нужно учитывать определенные тонкости. Их использование должно быть комплексным, так как применение ветрогенераторов на территории со слабым или редким ветровым потоком не рационально. То же относится к энергии солнца. Как видно из рис. 3, современная ресурсная база по нефти и природному газу на севере России настолько объёмна, что позволяет Западной Сибири оставаться основной производственной топливно-энергетической базой страны в долгосрочной перспективе. Для большей наглядности данные с рис. 3 представлены ниже в таблицах извлекаемых запасов свободного газа, конденсата, нефти и газа (таблицы 1–3). Также на территории Югры расположены гидропосты на основных реках и их притоках. Однако они не предоставляют полноценной системной ситуации, поскольку дают оценки только по определенным компонентам, а не по речной экосистеме в целом. Предлагаемая схема организации

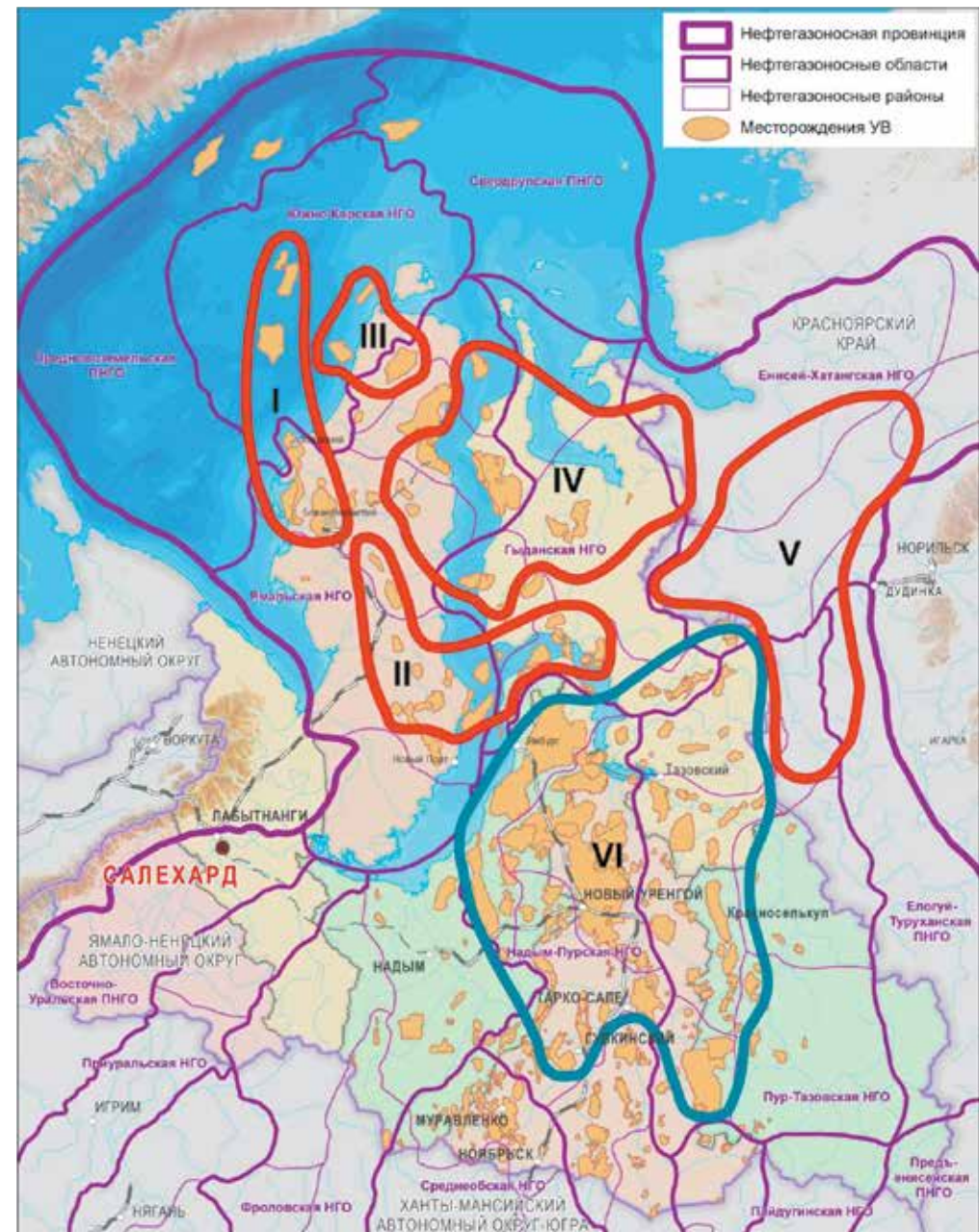


Рис. 3. Прогнозируемые запасы нефти и газа на территории севера Западной Сибири

№	Наименование блока	Извлекаемые запасы			
		Свободный газ, млрд м³		Конденсат, млн т	
		AB ₁ C ₁	B ₂ C ₂	AB ₁ C ₁	B ₂ C ₂
1	Бованенковско-Русановский	7591,1	3030,8	95,1	62,6
2	Обско-Тазовский	2603,5	511,1	25,2	20,5
3	Малыгино-Скуратовский	781,2	1744,5	35,9	194,3
4	Гыдано-Ямальский	2195,4	2699,6	194,3	260,4
	ИТОГО	13171,3	7985,9	350,4	537,7

Таблица 1. Запасы углеводородного сырья по блокам

№	Наименование блока	млрд м³
1	Бованенковско-Русановский	380
2	Обско-Тазовский	100
3	Малыгино-Скуратовский	100
4	Гыдано-Ямальский	100
6	Пур-Тазовский	300
ИТОГО		980

Таблица 2. Прогноз добычи газа

№	Наименование блока	млрд м³
5	Енисей-Хатангский	100

Таблица 3. Прогноз добычи нефти

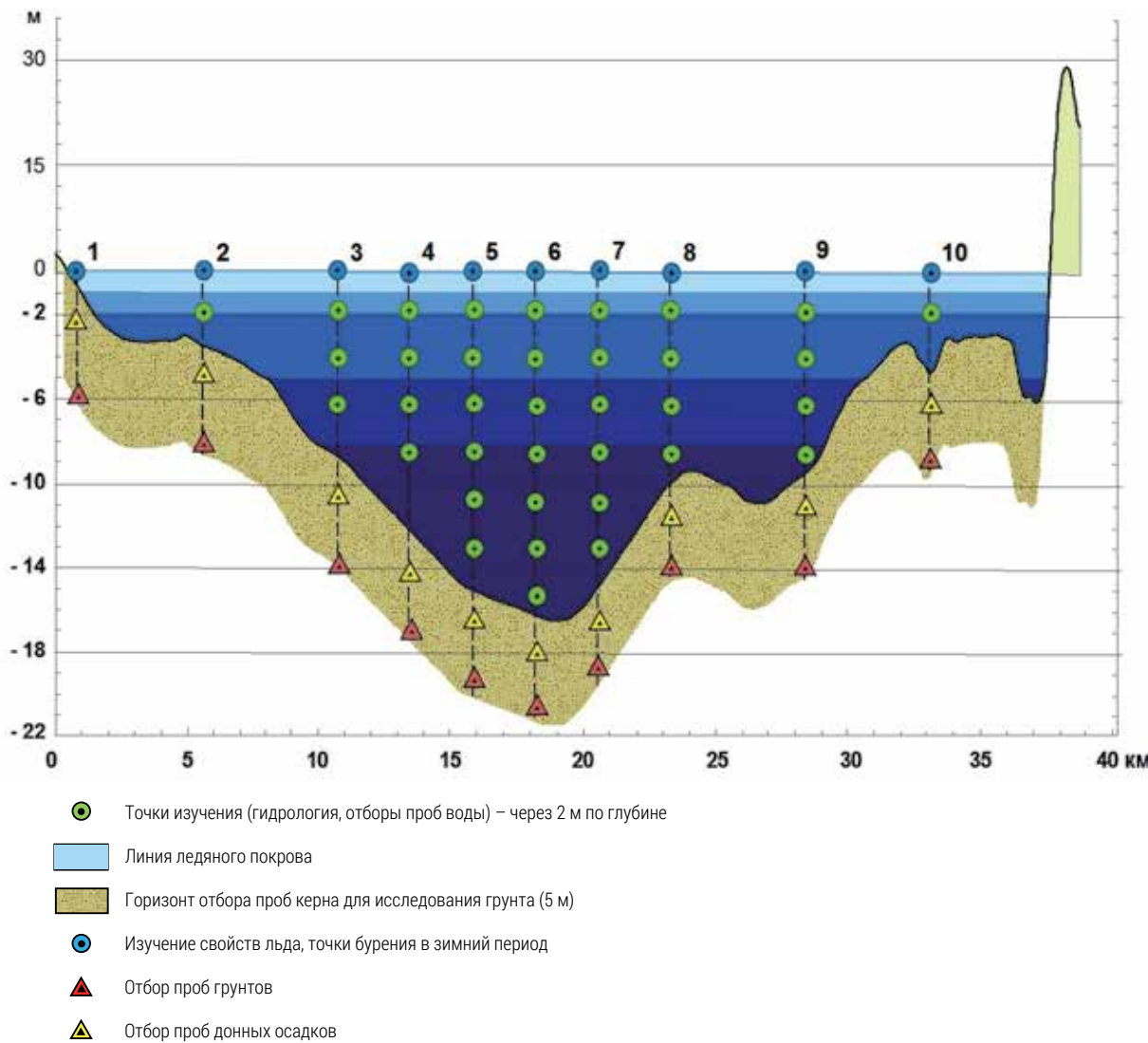


Рис. 4. Схема организации створа комплексного наблюдения на реках Обь-Иртышского водного бассейна

наблюдений на таком створе представлена на рис. 4.

Створ на реке является универсальным источником информации. Он может быть как стационарным, так и мобильным. Все зависит от условий изучения, количества и качества необходимой информации. На его основании можно исследовать:

- водную толщу и ледяной покров;
- донные осадки;
- грунты.

Эти направления можно дополнить исследованием биоты в зависимости от спроса заказчиков и потребителей информации (НИИ, природопользователей, инвесторов и т. п.).

Предлагается создание станций наблюдения за состоянием многолетнемерзлых пород и приземной атмосферы (рис. 5). В целом мощности мерзлых толщ различны. Так, например, если на территории ЯНАО история активного недропользования имеет пространственную дифференциацию, то и организация сети слежения должна быть также дифференцирована.

Средняя стоимость на возведение мониторинговой скважины требуется 0,1 % от стоимости добывающей скважины. Несомненно, мониторинговая система поведения ММП является важной частью экологических мероприятий и затраты на неё могут и должны быть учтены в статье расходов недропользователя. Обслуживание станций также не предполагает существенных издержек, так как соотносится с задачами производственного экологического мониторинга и может быть спроектировано на максимальной автоматизации [7].

Так на сегодняшний день территорию Западной Сибири нужно выстраивать как стратегическую базу Арктической зоны Российской Федерации до 2050 г. К сожалению, на сегодняшний день Россия сама не отслеживает изменения в окружающей среде, а ориентируется на западные отчеты, рейтинговые и аналитические агентства. Для этого нужны предлагаемые системы створов и мерзлотных станций.

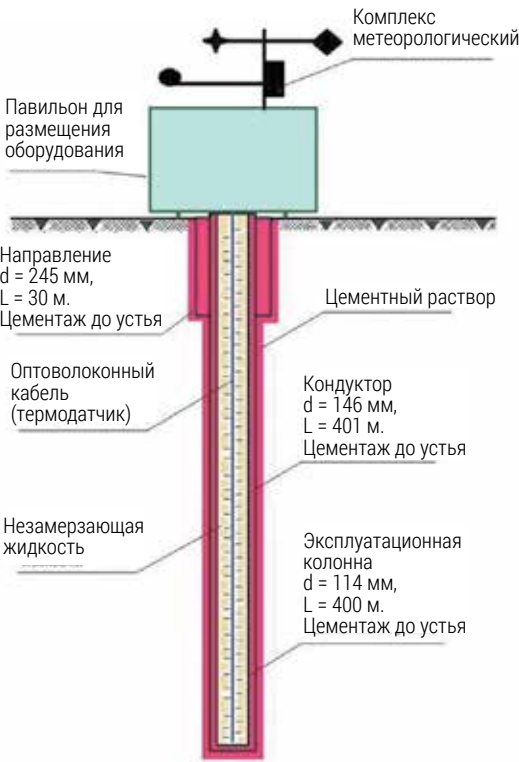


Рис. 5. Схема устройства станции наблюдения за состоянием многолетнемерзлых пород и приземной атмосферы

Использованные источники

1. Стратегия развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года. Утверждена указом президента РФ от 26.10.2020 г. №645.

2. Основы государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2035 года. Утверждены указом президента РФ от 05.03.2020 г. №164.

3. Том 2. Деятельность крупных нефтегазовых компаний в Арктической зоне России // Сколково. Московская школа управления. Июль 2020 г.

4. Том 3. Северный морской путь: история, регионы, проекты, флот и топливообеспечение // Сколково. Московская школа управления. Июль 2020 г.

5. Брехунцов А.М. и др. Риск-ориентированное моделирование социально-экологического развития в границах Обь-Иртышского бассейна Югры // Известия УГГУ. № 4(60), 2020. С. 194–205. DOI 10.21440/2307-2091-2020-4-194-205.

6. Брехунцов А.М., Петров Ю.В., Прыкова О.А. Стратегические направления по освоению природно-ресурсного потенциала Российской Арктики и формированию доктрины ее развития // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. № 4, 2020. С. 110–118. ISSN: 0445-0108

7. Брехунцов А.М., Петров Ю.В., Прыкова О.А. Концептуальное представление создания опорной наблюдательной сети для мониторинга многолетнемерзлых пород // Российская Арктика. № 12, 2021. С. 23–32. DOI: 10.24412/2658-4255-2021-1-23-32

8. Глобальная трансформация энергетики: дорожная карта до 2050 года (издание 2019 г.). – URL: <https://www.irena.org/publications/2019/Apr/Global-energy-transformation-A-roadmap-to-2050-2019Edition> (дата обращения: 03.09.2021).



ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ПОЛИТИКА

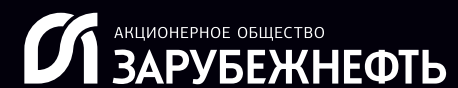


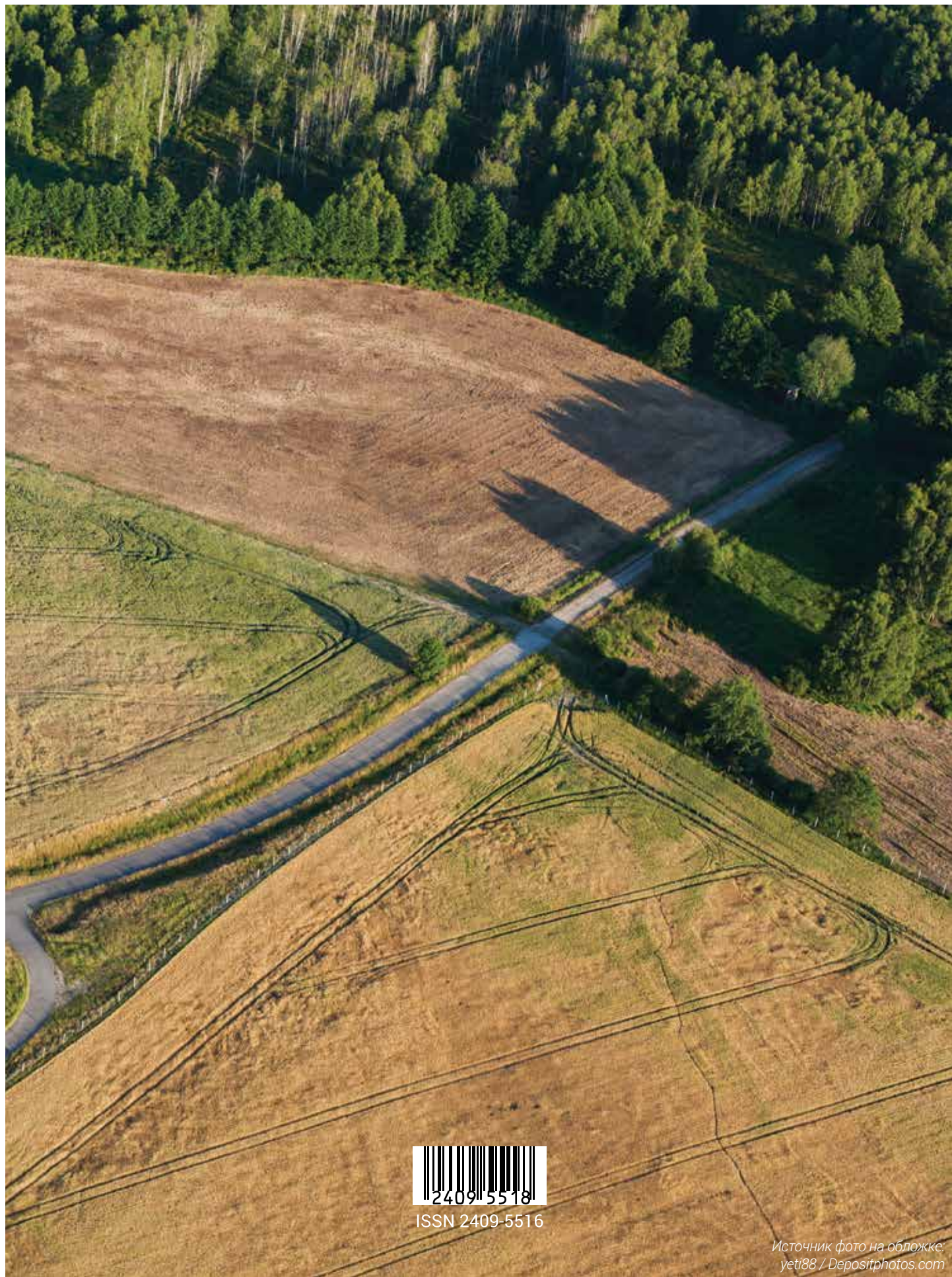
Оформить подписку на журнал «Энергетическая политика» на 2021 год можно через филиалы агентства «Урал-пресс», либо в ФГБУ «РЭА» Минэнерго России. По вопросам подписки звонить по телефону +7-910-463-53-57. Стоимость подписки на полугодие (6 номеров) составит 10 700 рублей. В каждом номере – аналитические обзоры, авторские колонки, материалы научного и научно-прикладного характера. Будь в курсе основных направлений развития ТЭК!

energypolicy.ru

НАШИ ПАРТНЕРЫ

 ПРОМСЫРЬЕИМПОРТ





2409-5518

ISSN 2409-5516

Источник фото на обложке:
yeti88 / Depositphotos.com