ISSN 2409-5516

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ПОЛИТИКА

ОБЩЕСТВЕННО-ДЕЛОВОЙ
НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

№5(196), май 2024

РГАСНТИ 44.09.29

Тема номера

НАЦИОНАЛЬНЫЕ ВЗГЛЯДЫ НА ГЛОБАЛЬНЫЙ ЭНЕРГОПЕРЕХОД

ЭНЕРГИЯ+

ОНЛАЙН-ЖУРНАЛ ОБ ЭНЕРГЕТИКЕ

От дизельного топлива до джакузи: изобретения, подарившие вечную жизнь именам своих изобретателей

ПМЭФ-2024
5-8 ИЮНЯ

АРТ-ПРОЕКТ
ОТКРЫВАЯ ТУНДРУ

ГАЗПРОМ НЕФТЬ

Реклама. 6+

ЗАРУБЕЖНЕФТЬ

«ЗАРУБЕЖНЕФТЬ» — государственная российская нефтегазовая компания стратегического значения с богатой историей и уникальным опытом внешнеэкономической деятельности.

«ЗАРУБЕЖНЕФТЬ» специализируется на разработке нефтегазовых месторождений в России и за рубежом, обеспечивая эффективную и комплексную добычу углеводородных ресурсов.

УЖЕ БОЛЕЕ 40 ЛЕТ
«Зарубежнефть» успешно осваивает континентальный шельф юга Вьетнама в рамках совместного предприятия «Вьетсовпетро».

В ЧИСЛЕ ДРУГИХ ПРОЕКТОВ:

— разработка месторождений в Ненецком автономном округе (СК «РУСВЬЕТПЕТРО» и «ЗАРУБЕЖНЕФТЬ-добыча Харьяга»);

— применение передовых технологий добычи высоковязких сортов нефти на Кубе;

— повышение нефтеотдачи на зрелых месторождениях Узбекистана;

— реализация проектов в Египте и Индонезии.

Помимо этого, компания работает в сегменте «Нефтепереработка и сбыт» на территории Республики Сербской (Босния и Герцеговина), имеет в структуре собственные проектные институты подземного и наземного обустройства нефтегазовых месторождений, а также сервисные компании.

НАША КОМАНДА
В компании работают более 12 000 сотрудников по всему миру. **Каждый сотрудник «Зарубежнефти» — ОСНОВА компании.**

Наш сайт

Мы в Telegram

ЗАРЯЖАЕМ МИР
ЭНЕРГИЕЙ

Реклама 12+

Содержание

Слово редакторов

7 **В. Бушуев, А. Горшкова.** Майские назначения

Энергопереход

8 **В. Бушуев, Ю. Шафраник.** Политические решения и опасное ускорение волатильности мирового энергоэкономического развития

24 **Д. Холкин, И. Чаусов.** Энергетический переход с инженерной точки зрения

Климат

40 **Д. Рожицкий, Ю. Бардыкин, А. Чепиль, Ю. Павлов.** Оценка снижения выбросов парниковых газов при собственной генерации тепловой энергии ОАО «РЖД» до 2050 г. при постепенном отказе от мазута

Нефть

50 **А. Арифуллин, В. Маркин.** Перспективы применения генеративного искусственного интеллекта в нефтегазовой отрасли

60 **А. Коршак, Т. Безымянников, В. Пшенин, М. Ямилев.** Повышение эффективности эксплуатации магистральных трубопроводов в рамках проведения высокотехнологичных научных исследований

Энергетика

68 **В. Бутузов.** Достижения и проблемы возобновляемой энергетики стран СНГ

Регионы

92 **Ю. Сентюрин, Н. Любовская.** Международное энергетическое сотрудничество и новая концепция внешней политики России

Contents

Editor's column

7 **V. Bushuev, A. Gorshkova.** May appointments

Energy transition

8 **V. Bushuev, Yu. Shafranik.** Accelerating the dynamics of global energy-economic development

24 **D. Holkin, I. Chausov.** Energy transition from an engineering perspective

Climate

40 **D. Rozhitsky, Y. Bardykin, A. Chepil, Y. Pavlov.** Assessment of the reduction in greenhouse gas emissions from the generation of thermal energy by Russian Railways own sources on the horizon until 2050 with the gradual abandonment of the use of heating oil

Oil

50 **A. Arifullin, V. Markin.** Prospects for the application of generative artificial intelligence in the petroleum industry

60 **A. Korshak, T. Bezymyannikov, V. Pshenin, M. Yamilev.** Increasing the efficiency of operation of main pipelines as part of high-tech scientific research

Energy

68 **V. Butuzov.** Achievements and problems of renewable energy in the CIS countriesГ

Regions

92 **Yu. Sentyurin, N. Lyubovskaya.** International energy cooperation and the new Foreign Policy Concept of the Russia

УЧРЕДИТЕЛЬ

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

УЧРЕДИТЕЛЬ И ИЗДАТЕЛЬ

ФГБУ «РЭА» Министерства энергетики Российской Федерации

НАУЧНО-РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

В. В. Бушуев – д. т. н., проф., г. н. с. ОИВТ РАН
Е. О. Адамов – д. т. н., науч. рук. АО «НИКИЭТ»
В. М. Батенин – член-корр. РАН, д. т. н., проф.
П. П. Безруких – д. т. н., проф. НИУ МЭИ
В. И. Богоявленский – член-корр. РАН, д. т. н., проф., г. н. с. ИПНГ РАН
А. И. Громов – к. г. н., гл. директор по энергетическому направлению Фонда «ИЭФ»
А. Н. Дмитриевский – акад. РАН, д. г.- м. н., научный руководитель ИПНГ РАН
С. А. Добролюбов – акад. РАН, д. г. н., проф., декан географического факультета МГУ
О. В. Жданеев – д. т. н., ЦКТР ТЭК
В. М. Зайченко – д. т. н., проф., г. н. с. ОИВТ РАН
М. Ч. Залиханов – акад. РАН, д. г. н., проф., зав. ЦГиЧС КБГУ
В. М. Капустин – д. т. н., проф., зав. кафедрой РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина
В. А. Крюков – акад. РАН, д. э. н., директор ИЭОПП СО РАН
А. И. Кулапин – д. х. н., ген. директор ФГБУ «РЭА» Минэнерго России
В. Г. Мартынов – к. г.- м. н., д. э. н., проф., ректор РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина
А. М. Мастепанов – акад. РАЕН, д. э. н., г. н. с. АЦЭПБ ИПНГ РАН
Н. Л. Новиков – д. т. н., проф., зам. науч. рук. АО «НТЦ ФСК ЕЭС»
В. И. Рачков – член-корр. РАН, д. т. н., проф.
П. Ю. Сорокин – первый зам. министра энергетики РФ
Д.А. Соловьев – к.ф.-м. н., научный сотрудник Института океанологии РАН
В. А. Стенников – акад. РАН, д. т. н., проф., директор ИСЭ им. Мелентьева СО РАН
Е. А. Телегина – член-корр. РАН, д. э. н., проф., декан фак-та РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина
С. П. Филиппов – акад. РАН, д. т. н., директор ИНЭИ РАН
А. Б. Яновский – д. э. н., к. т. н.

Главный редактор
Анна Горшкова

Научный редактор
Виталий Бушуев

Зам. главного редактора по продвижению
Виолетта Локтева

Корректор
Роман Павловский

Фотограф
Иван Федоренко

Дизайн и верстка
Роман Павловский

Адрес редакции:
127083, г. Москва, улица 8 марта, д. 12
+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

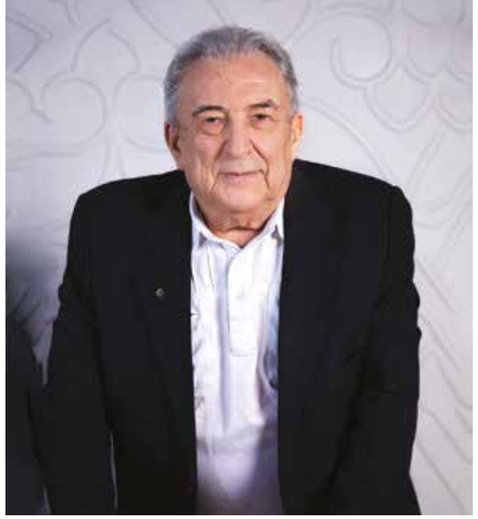
Периодичность выхода 12 раз в год

Цена свободная

Отпечатано в ООО «КОНСТАНТА», 308519, Белгородская область, Белгородский р-н, п. Северный, ул. Березовая, 1/12
E-mail: info@konstanta-print.ru

Подписано в печать: 05.05.2024

16+



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

Анна ГОРШКОВА
Главный редактор журнала
«Энергетическая политика»

Майские назначения

Президент РФ 14 мая 2024 г. своим указом утвердил новый состав правительства страны. Александр Новак был не просто переутвержден на пост заместителя председателя Правительства РФ, курирующего работу ТЭК, ему также было поручено новое направление работы в части обеспечения государственного регулирования в сфере экономики. Новым министром энергетики был назначен Сергей Цивилев.

В новом составе правительства А. Новаку предстоит координировать работу основных направлений социально-экономического развития РФ, контрсанкционных мер, инвестиционной политики, единой финансовой, кредитной и денежной политики, интеллектуальной собственности, антимонопольной и тарифной политики. В ведении А. Новака также находится разработка единого плана по достижению национальных целей развития России до 2030 г. и на перспективу до 2036 г., работа по оценке влияния бюджетной и налоговой политики на социально-экономическое развитие и ускорение темпов экономического роста.

Новым министром энергетики России стал губернатор Кемеровской области и Кузбасса Сергей Цивилев. Он сменил на этом посту Николая Шульгинова. При назначении на должность учитывались его многолетний опыт на посту руководителя крупнейшего российского угледобывающего региона, а также работа на федеральном уровне в президиуме Государственного совета и в качестве председателя комиссии Госсовета России по направлению «Энергетика».

Таким образом, государственная политика России в сфере ТЭК сохранит основные принципы и приобретет новые направления, такие как работа с регионами, поддержка и использование российских инженерной школы, научной базы и промышленности.

УДК 330.1:620.9 DOI 10.46920/2409-5516_2024_5196_8 EDN: THEIRH

Политические решения и опасное ускорение волатильности мирового энергоэкономического развития

Accelerating the dynamics of global energy-economic development

Виталий БУШУЕВ
Генеральный директор Института энергетической стратегии (ИЭС); ведущий научный сотрудник Объединенного института высоких температур (ОИВТ) РАН, д. т. н., профессор
E-mail: vital@guies.ru

Vitaly BUSHUEV
General Director of the Institute for Energy Strategy (IES); Senior Research Scientist at the Joint Institute for High Temperatures of the Russian Academy of Sciences (JIHT RAS), D.Sc. in Engineering, Professor
E-mail: vital@guies.ru

Юрий ШАФРАНИК
Председатель Совета Союза нефтегазопромышленников РФ, руководитель Комитета по энергетической стратегии и развитию ТЭК Торгово-промышленной палаты (ТПП) РФ, д. э. н.
E-mail: referent@sng.msk.ru

Yuri SHAFRANIK
Chairman of the Council of the Union of Oil and Gas Producers of Russia, Head of the Committee on Energy Policy of the Chamber of Commerce and Industry (CCI) of the Russian Federation, D.Sc. in Economics
E-mail: referent@sng.msk.ru

Шанхайская фондовая биржа *Источник: mulino58.ru*

Аннотация. Статья посвящена анализу изменений в глобальной энергоэкономической динамике последних десятилетий с акцентом на переосмысление роли политических факторов в контексте глобальных экономических и энергетических процессов. В условиях ускорения глобальных перемен, обусловленных технологическим прогрессом, экологическими вызовами и социальными сдвигами, особое внимание уделяется анализу влияния политических решений ведущих стран мира на экономическую стабильность и энергетическую безопасность. Обсуждаются перспективы будущего развития мировой энергоэкономики в контексте потенциальных вызовов и стратегий устойчивого развития. Подчеркивается важность стратегического прогнозирования и адаптации к меняющимся глобальным условиям для обеспечения энергетической стабильности, экономического роста и экологической гармонии общества и окружающей среды.
Ключевые слова: глобальная энергоэкономика, политические факторы, глобальные изменения, стратегическое прогнозирование, экономическая стабильность, энергетическая безопасность, устойчивое развитие, технологический прогресс, экологические вызовы.

Abstract. This article is dedicated to analyzing the changes in the global energy-economic dynamics over the last decades, with a focus on rethinking the role of political factors in the context of global economic and energy processes. Amid accelerating global changes driven by technological progress, environmental challenges, and political shifts, special attention is given to the impact of political decisions of the world's leading countries on economic stability and energy security. The prospects for future development of the world energy economy in the context of potential challenges and sustainable development strategies are discussed. The importance of strategic forecasting and adaptation to changing global conditions to ensure energy stability and economic growth is emphasized.
Keywords: global energy economy, political factors, global changes, strategic forecasting, economic stability, energy security, sustainable development, technological progress, environmental challenges.

Несмотря на немыслимую дороговизну такого ресурса, как ВИЭ, политические решения оказались сильнее экономических обоснований

Циклическая динамика экономики и энергетики в доковидный период

В последние три десятилетия мировая экономика проходила через периоды роста и спада, которые во многом определялись энергетическими ресурсами, их доступностью и стоимостью [1]. Эта плавная, но заметная цикличность, характеризующаяся изменениями в спросе и предложении на нефть и другие энергетические ресурсы, оказывала существенное влияние на мировую экономическую динамику. В свою очередь, экономика через инвестиции и финансовые показатели стоимости нефтяных фьючерсов, величина которых во много раз превышала реальные объемы нефти на мировом рынке, оказывала существенное влияние на этот рынок. Наличие прямых и обратных связей «экономика – энергетика» приводило к колебательной динамике всей системы. Регулярные колебания цен на энергетиче-

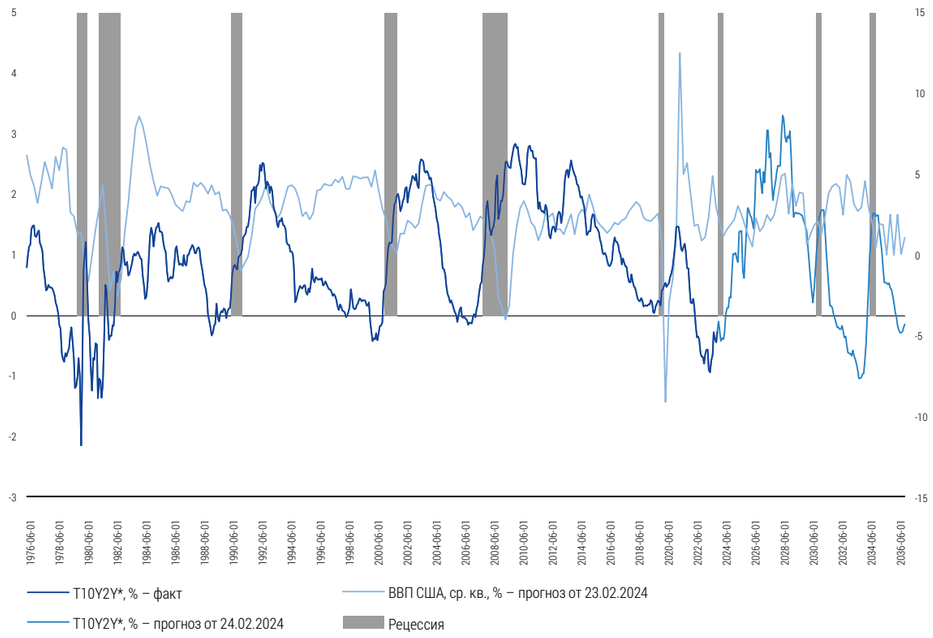


Рис. 1. Динамика кривой спреда и рецессий в США

Источник: ИЭС

ские ресурсы и связанные с ними экономические параметры формировали циклы продолжительностью в среднем 10 лет, что коррелировало с периодами стабильности и изменений в общей динамике миросистемы, в т. ч. с динамикой солнечной активности, определявшей периодичность многих процессов на Земле [2].

Эта закономерность не только подтверждается анализом исторических данных, но и иллюстрируется влиянием циклов на ключевые экономики мира, в том числе на экономику США. Особенно это заметно на примере динамики экономических рецессий, следующих за периодами, когда кривая спреда (разница между долгосрочными и краткосрочными процентными ставками) приближается к нулю, сигнализируя о возможных экономических потрясениях [3]. На рис. 1 представлена динамика ВВП США как за прошлые годы, так и рассчитанная нами для будущих периодов.

В прошлом экономические рецессии в США наблюдались в 1981, 1990, 2001, 2009, 2020 гг., т. е. с периодом в 9–11 лет. Примерно такая же периодичность наблюдалась и в динамике мировых финансово-экономических кризисов: «черный понедельник» – 1990 г., крах доткомов – 2000 г., мировой финансовый кризис – 2008 г. и ожидавшийся кризис в 2020 г.

Непосредственно после кризисов по закону маятника начинается восстановление экономики с определенными изменениями в структуре рынка и ролью его участников. Так, после Азиатского кризиса 2008–2009 гг. начался беспрецедентный подъем экономики Китая, потеснившего США с места главного импортера топливно-энергетических ресурсов, в первую очередь, нефти. Америка, стараясь не остаться в энергетическом дефиците, начинает не только скупать нефть из всех возможных регионов (Латинской Америки, Канады), но и активно развивать собственную добычу, реализуя политическую поддержку «сланцевой революции». Для диверсификации поставок начинает эффективно использоваться не только танкерная перевозка сырой нефти, но и сжиженного природного газа (СПГ). Под давлением «зеленых» – экологов, обеспокоенных вначале возможным дефицитом природных ресурсов при таком бурно растущем спросе на них, а затем – из опасений чрезмерного загрязнения атмосферы выбросами CO_2 при сжигании топлива, правительства ряда стран Запада, США и ЕС, не имеющих необходимых собственных ресурсов углеводородов, приняли беспрецедентное политическое решение о «энергетическом переходе» к безуглеродному развитию ВИЭ. Несмотря на немыслимую дороговизну такого ресурса, политические решения оказались сильнее экономических обоснований. И хотя США не достигли на этом пути сколько-нибудь значимых результатов, некоторые страны ЕС, в частности, Германия, довели уровень производства электроэнергии на ВИЭ до 50%. При этом существенно меняется вся структура не только энергетики, но и экономики. В ЕС стала сокращаться доля тяжелой промышленности, частично переместившаяся в США и провинциальные страны Азии и Африки, а в самой метрополии стала развиваться децентрализованная экономика. Такая трансформация привела к закрытию АЭС и других крупных ТЭС, а после политического решения об отказе от поставок российского газа страна оказалась в полной зависимости от поставок дорогого американского сланцевого сжиженного газа. Так, политические решения идут не на общую пользу энергетического и экономического сотрудничества, а на уничтожение своих партнеров – конкурентов в мире.

И тем не менее рынок нефти и газа остается главным для решения экономических задач. Но чем больше рост экономики, тем больше требуется ресурсов,

Завод Basf в Германии

Источник: Christian Bedeschinski / BASF

Рецессии в США наблюдались в 1981, 1990, 2001, 2009, 2020 гг., т. е. с периодом в 9–11 лет. Такая же периодичность наблюдалась и в динамике мировых финансово-экономических кризисов

и тем выше их цена на рынке. И цены следуют за кризисами. Такие закономерности в экономике в целом совпадают с периодическими колебаниями на мировом нефтегазовом рынке, подчеркивая тесную связь между энергетическими отраслями и общей экономической стабильностью.

Для США экономическая динамика меняется в противоположном направлении по сравнению с динамикой нефтяных цен, тогда как для РФ эти процессы протекают синхронно. Для Китая, по сути дела, движение экономических показателей мало зависит от нефтяных цен. Это вполне объяснимо, так как экономика США, несмотря на добычу и экспорт сланцевых ресурсов, все же остается импортоориентированной, а экономика России по-прежнему зависит от экспорта углеводородного сырья. Подобная зависимость особенно проявлялась в начале 2000-х гг. и в период 2010–2020 гг. [4], что отражено на рис. 2. И только во время кризиса 2009 г. нефтяные цены и экономика всех стран одинаково падали и причем достаточно интенсивно. То же имело место и во время начального этапа развития COVID-19 в 2019 г., тогда как уже в 2021 г. и нефтяные цены, и экономика довольно быстро скачкообразно выросли. Но уже к концу этого года экономика всех стран снова круто пошла вниз. Самой высокой волатильностью в этот период отличалась экономика КНР, где во время пандемии закрывалось большое число промышленных предприятий. Наименьшая волатильность была присуща экономике РФ. Это говорит о том, что ситуация в энергоэкономическом блоке всех стран обычно меняется в соответствии с логикой зависимости ВВП от нефтяных цен, а во время кризисов эта логика исчезает: ситуация в экономике

и на нефтегазовом рынке меняется синхронно и весьма резко, как в сторону падения, так и последующего подъема кривых.

Переосмысление мировой энергоэкономической динамики: пандемийные вызовы нового десятилетия

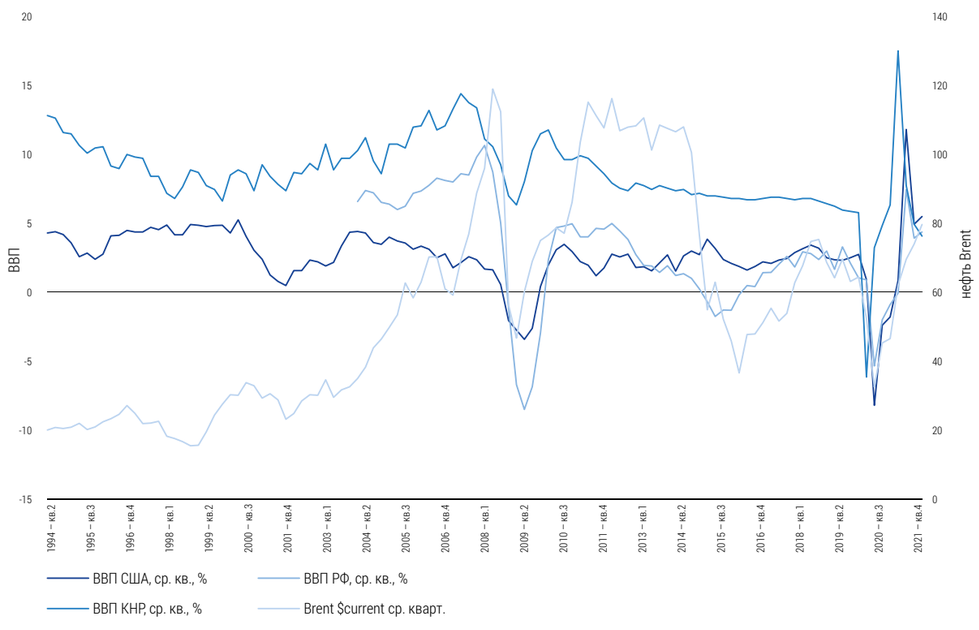
Однако после первого этапа COVID-19 ситуация в динамике энергоэкономического развития претерпела существенное изменение [5, 6]. Эти изменения вызваны не только традиционными факторами, такими как цикличность спроса и предложения на энергоресурсы, но и новыми вызовами и возможностями, связанными с проявлением качественно новых политических, военных, экологических и технологических факторов. Эти тенденции формируют современную энергетическую карту мира и определяют контуры будущего мирового энергоэкономического развития.

В последнее 10–15 лет, начиная условно с 2012 г., мир столкнулся с общей паникой перед лицом ожидаемого «конца света», которая серьезно повлияла на глобальную энергетическую и экономическую динамику и общую неуверенность человечества перед лицом неизбежной трансформации мирового порядка. Растущие опасения по поводу климатических изменений с угрозой глобального потепления, усиленные ажиотажем вокруг «зеленой революции» и «энергетического перехода» от углеродной энергетики к ВИЭ, несмотря на профицит энергоресурсов в мире, а также пандемия COVID-19, показали неспособность нынешней организации мирового сообщества быстро и согласованно реагировать на чрезвычайную ситуацию в экономике. В социальном плане активная пропаганда роботизации и чипирования под маркой цифровизации и интеллектуализации труда и быта вызвали рост неуверенности в традиционном материально ориентированном развитии общества. Рост реальной опасности возрождения национализма и фашизма, усиление угрозы коллективной европейской безопасности, вплоть до панического ожидания возможной Третьей Мировой ядерной войны; начало специальной военной операции на Украине по защите права русского мира на свое самостоятельное существование – все это различные звенья общей пандемии – паники человечества перед лицом разрушения действующей и появления новой миросистемы. И эта ситуация вызвала значительную неопределенность и способствовала усилению политического влияния на мировую экономику и энергетический сектор, давая правительствам и международным организациям возможность концентрировать ресурсы и действовать в условиях кризиса. Эти действия в большинстве случаев носили спорадический характер и вызвали массу неожиданных и катастрофических последствий. Политические решения, направленные не на глобальную борьбу с пандемией, а на закрытие границ и остановку предприятий, на отказ от взаимопомощи в освоении вакцин, усугубляли не только ожидавшийся экономический кризис 2020 г., но и застали мир врасплох перед лицом неожиданной и массовой вирусологической атаки на все человечество, вызвали лавину опасных социальных последствий в сфере энергетической и экономической безопасности и общую пандемийную угрозу самого существования человечества.

США не достигли на пути энергоперехода сколь-нибудь значимых результатов, но некоторые страны ЕС, в частности Германия, довели уровень производства электроэнергии на ВИЭ до 50%

Рис. 2. Динамика мировых цен на нефть (Brent) и экономик США, РФ и КНР

Источник: ИЭС



Пустая Таймс-сквер в Нью-Йорке, 2020 г.

Источник: tetianaphotography / depositphotos.com

Примеры недостаточно скоординированных действий в ответ на пандемию COVID-19, противоречивые решения и ажиотаж вокруг Парижского соглашения по климату демонстрируют сложности, с которыми сталкивается международное сообщество при попытке найти общие подходы к глобальным проблемам в условиях пандемии [7]. По сути, пандемийные явления продемонстрировали миру распад глобализма во всех сферах международных отношений.

К тому же, политические решения США в виде санкций против РФ, направленные на отказ Европы от российских поставок нефти и газа, и относительная медлительность ответных действий России подчеркивают роль политического противосто-

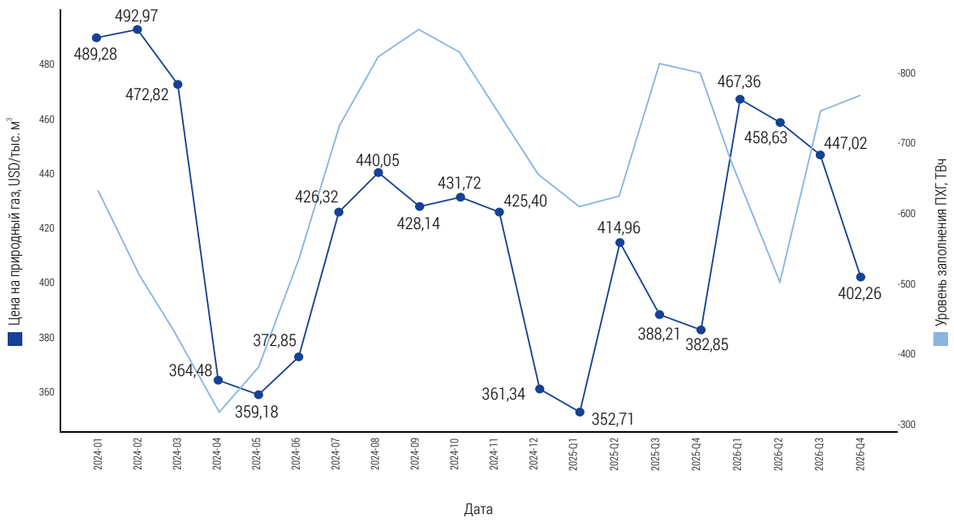


Рис. 3. Прогноз цен и уровня заполнения ПХГ в ЕС (2024 г. – по месяцам, 2025–2026 гг. по кварталам)

Источник: ИЭС

яния на современной геополитической арене [8]. Запад во главе с США открыто стал использовать энергетический фактор в своих политических целях – оторвать Европу от сотрудничества с РФ, даже ценой экономического и социального кризиса своих партнеров. Поворот России на Восток и на Юг позволил частично стабилизировать ситуацию, но всё равно привел к ускорению динамики глобальных процессов [9].

Дополнительные факторы, такие как взрыв на газопроводе «Северный поток», перекрытие транзита газа через Польшу, а также санкции в отношении России, оказали существенное влияние на мировую экономику и нефтегазовые рынки, делая ситуацию еще более напряженной. Пожалуй, впервые в мировой истории перестал работать тезис, что «экономика определяет политические решения». Вышло все наоборот. «Политика диктует экономические решения».

Рынок нефти и газа остается главным для решения экономических задач. Но чем больше рост экономики, тем больше требуется ресурсов, и тем выше их цена на рынке. И цены следуют за кризисами

Россия всегда считала незыблемой свою экспортную политику с ориентацией на трубопроводный транспорт в Европу. Страны Восточной Европы даже после ликвидации СССР на 100% (а Германия на 70%) зависели от поставок нефти и газа из России. Другие варианты в долгосрочной программе «Газпрома» не рассматривались, в том числе и вариант СПГ – более диверсифицированный по отношению к покупателям, особенно в районах ЮВА, но и более дорогой по сравнению с трубой, имеющей надежную точку доставки. Даже после принятия США санкций в отношении российских поставщиков нефти и газа в Европу, а фактически, запрета для стран ЕС покупать российские энергоресурсы, с трудом верилось, что европейский рынок начнет закупать дорогой американский сланцевый газ в сжиженном виде. Но это случилось. Экономика ЕС оказалась бессильна перед лицом американского политического давления. И сегодня объемы закупок американского газа в Европе вышли на первое место по сравнению с другими импортными закупками углеводородного сырья. За один 2022 г. импорт американского газа в ЕС вырос в 2,5 раза, тогда как поставки в Китай упали в 4 раза. Американцы владеют уже 40%-ми газа в ЕС, хотя он дороже прежнего российского в два раза, а российские поставки (даже с учетом окольных путей) снизились за 2023 г. вдвое. Передел энергетического рынка в Европе еще более усилился в пользу США под угрозой полного подчинения ЕС американскому диктату не только в энергетической и экономической, но и в военно-политической сферах. Как говорят, «телевизор победил кошелек», а «военно-политический кулак оказался увесистей экономических доводов». Вот вам и свободная торговля.

Стабилизация ЕС по-американски

Во многом американцам удалось поставить ЕС на колени и в политической, и в экономической, и в энергетической сферах.

Запасы газа, которых действительно не хватало в ЕС последние 2 года, сегодня стабилизировались на уровне не ниже 80% от имеющихся объемов газохранилищ, и цена тоже стабилизировалась (хотя и с сезонными колебаниями от 360 до 450 долл. на тыс. м³) – рис. 3.

Необходимо отметить, что эта стабилизация происходит на уровне цен, в два раза превышающих допандемийный уровень (при поставках газа по российским трубопроводам). И, похоже, эта ситуация сохранится в ЕС на долгие годы – рис. 4.

По сравнению с пандемийным периодом и периодом активного запрета российских поставок ситуация, возможно, станет более спокойной, хотя цена этого «спокойствия» – двухкратный рост установившихся газовых цен в ЕС (после ее пусть кратковременного, в течение 2020–2022 гг., но 5-кратного всплеска) и реальная угроза сохранения ее экономики. И это еще раз подтверждает, что экономика оказывается в заложниках политических решений.

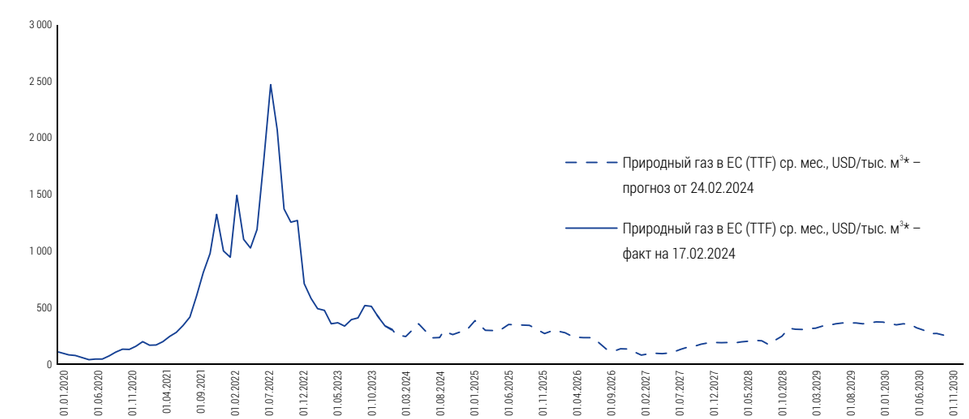
Ситуация на нефтяном рынке

На нефтяном рынке ситуация несколько более спокойная – общий объем российских поставок (в основном окольными путями) в ЕС сохраняется, хотя и в меньшем объеме, но ситуация с ценами (благодаря ОПЕК+) не столь драматическая – рис. 4 и 5.

Россия, поддерживая контакты с руководством ОПЕК+, пытается противопоставить американцам свои политические решения о снижении или наращивании добычи и экспорта в Европу и Юго-Восточную Азию, надеясь тем самым поддержать цены в приемлемом для себя диапазоне не ниже 80 долл. за барр. Но при этом приходится поступаться объемами экспорта и, следовательно, объемом выручки. Вопрос, что лучше: бóльший объем экспорта при пониженных ценах (американский вариант) или меньший объем при повышенных ценах (вариант ОПЕК) остается открытым для политических решений и вызыва-

Рис. 4. Прогнозная динамика газовой ситуации в ЕС

Источник: ИЭС



ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ПОЛИТИКА №5(196) / 2024

США открыто стали использовать энергетический фактор в своих политических целях – оторвать Европу от сотрудничества с РФ, даже ценой экономического и социального кризиса своих партнеров

ет не научные споры и дипломатические дискуссии, а политическое противостояние стран ЕС и Ближнего Востока с примкнувшей к нему Россией.

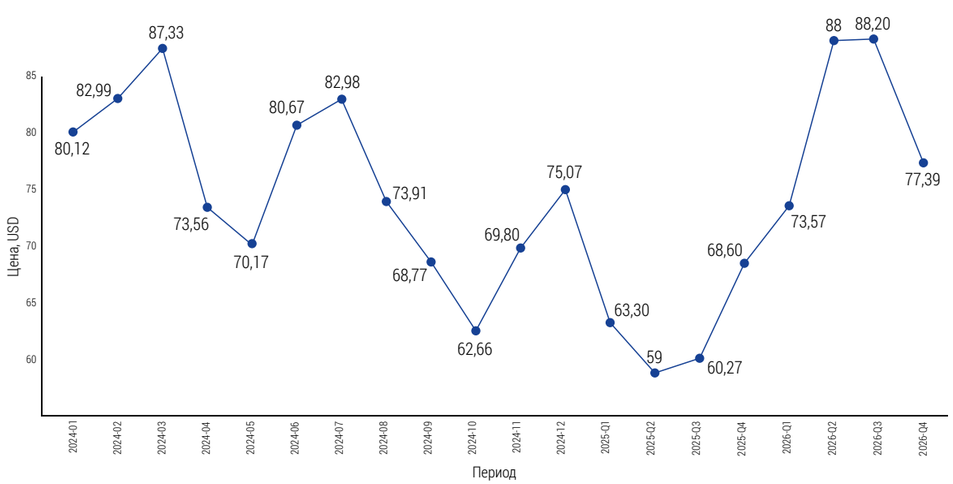
Сегодня влияние внутриполитических решений США и ЕС и их оперативное выполнение позволило временно смягчить кризисные явления в экономике и на энергетическом рынке Европейского союза [10]. Рынок нефти и газа стабилизировался на новом уровне цен, а экономика начала возвращаться к прежним темпам роста.

Согласно прогнозу Института энергетической стратегии, цена на нефть Brent в 2024 и 2025 гг. будет снижаться по сравнению с предыдущим периодом. В 2024 г. средняя цена на нефть Brent составит примерно 75,67 долл. за барр., что на 6,78 долл. за барр. меньше, чем в 2023 г. В 2025 г. средняя цена на нефть Brent снизится дополнительно. Как видно из данных на графике (Рис. 5), цена на нефть Brent демонстрирует общий нисходящий тренд в 2024 и 2025 гг., с некоторыми колебаниями по периодам. Наибольшее падение цены ожидается во втором квартале 2025 г., когда она достигнет минимума в текущем колебательном цикле. Однако после этого цена начинает расти, достигая максимального значения в третьем квартале 2026 г. на уровне примерно 88,2 долл. за барр. Эти полуторалетние колебания с возможным их смещением по амплитуде и по времени в ту или иную сторону под влиянием непредвиденных военно-политических столкновений, в частности, на Ближнем Востоке, привносят новую и весьма непрогнозируемую ситуацию на рынке «Европа – Азия».

Существуют частные прогнозы (например, Bloomberg), ожидающие подъема цен до 100 долл. уже в самое ближайшее время. Но они опираются на случайные флуктуации с поставками нефти на мировой рынок или их сдерживанием под влиянием тех или иных кратковременных военно-политических событий в Персидском заливе и противостояния «Израиль – Иран». Но ситуация на рынке быстро меняется в ту или иную сторону в зависимости от развития политической ситуации и принимаемых основными игроками тех или иных решений. И потому текущие частные прогнозы не могут служить ориентиром при формировании ценовых трендов. Более того, по данным Международного энергетического агентства (URL: https://www.iea.org/reports/oil-market-report-january-2024) ожидается, что цена на нефть Brent повысится в 2024 г. до 93 долл. за барр. Это существенно выше, чем прогноз ИЭС. В 2025 г. МЭА прогнозирует, что цена на нефть Brent снизится до 88 долл. за барр., но останется выше, чем прогноз ИЭС. Оптимизм МЭА очень часто оказывался завышенным. В последнее время большинство аналитиков уже не доверяют политизированным «заданным» прогнозам МЭА.

Рис. 5. Прогнозная динамика стоимости нефти марки Brent (2024–2026 гг.)

Источник: ИЭС



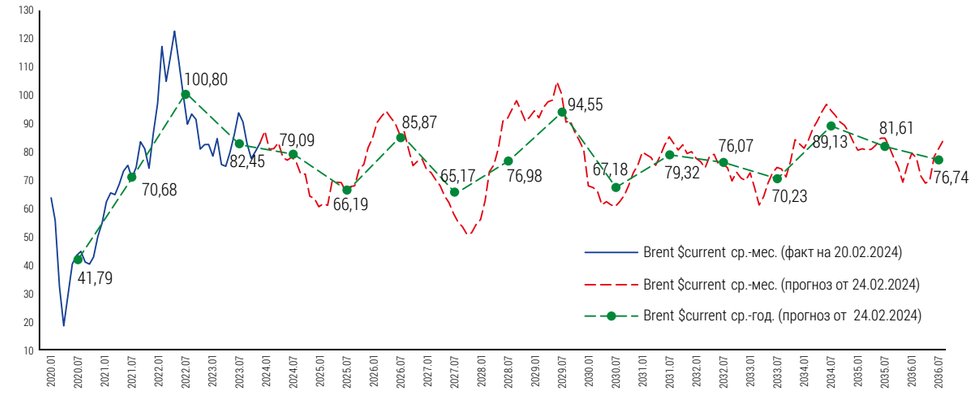


Рис. 6. Прогнозная динамика цен на нефть марки Brent (2024–2036 гг.)

Источник: ИЭС

На основе рассчитанных среднегодовых цен можно отметить некоторые ключевые моменты в изменении стоимости нефти с 2024 по 2036 гг. Это изменение будет характеризоваться значительной волатильностью, отражая влияние глобальных экономических циклов, политических событий и других факторов на рынок. В 2026 г. цена возрастет до 88 долл., демонстрируя кратковременный положительный тренд. В последующие годы до 2036 г. цены продолжат колебаться, показывая, как периоды роста, так и снижения. Амплитуда этих колебаний в среднегодовом исчислении будет от 65 долл. за барр. в 2027 г. до 95 долл. в 2029 г., т. е. значительно меньше, чем в период пандемии (2020 г.).

Но не менее важна частота этих колебаний. По сравнению с доковидным периодом, когда волны нефтяных цен на рынке взмывали и падали каждые 10–12 лет, в постковидный период цены колеблются с гораздо большей волатильностью. Период их колебаний прогнозируется на уровне 4–5 лет (рис. 6).

Рынок станет более мобильным в связи с тем, что он будет подвергаться не только внешним факторам «спрос – предложение», а более интенсивным воздействиям со стороны государственных органов стран – импортеров и экспортеров. Это сокращение периода колебаний нефтяных цен вызывает дополнительную угрозу безопасности мирового рынка из-за того, что непредвиденные военно-политические события, хотя и носят, как правило, кратковременный характер, могут существенно повлиять на динамику стоимости, вызывая необратимые явления, и тогда более частые подъемы и падения нефтяных котировок могут привести к возможному выходу всей энергоэкономической системы за рамки допустимых параметров. Политические решения могут при этом как стабилизировать рынок, так и раскачать его до недопустимого уровня.

Это вмешательство госорганов подчеркивает сложность выявления долгосрочных тенденций на рынке нефти. Однако, как показывают наши прогнозы до 2036 г., общий тренд за весь период будет охарактеризован как относительно стабильный с периодическими ростами и падениями цен, если он не будет перманентно реагировать на возможные политические вмешательства. Снижение этой опасности раскачки рынка зависит как от пове-

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ПОЛИТИКА №5(196) / 2024

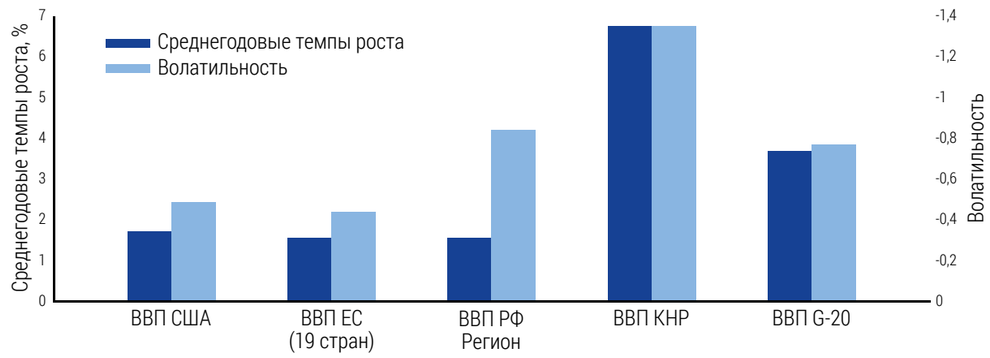


Рис. 7. Анализ трендов роста и волатильности изменений ВВП по регионам (2024–2026 гг.)

Источник: ИЭС

дения политиков, так и от стабильности самого мирового нефтегаза, его способности противостоять текущим внешним воздействиям.

Прогнозы экономического развития ведущих стран мира

Политические решения США и других стран в сфере регулирования на нефтегазовом рынке меняют ситуацию и в экономике регионов, где поставки ТЭР играют важную роль в динамике ВВП.

Так, на рис. 7 и 8 приведен анализ прогнозных трендов и волатильности роста ВВП ряда стран и их объединений на период до 2026 г. и изменений ВВП на период до 2036 г.

На представленном на рис. 8 графике показано изменение ВВП по годам для всех регионов, начиная с января 2024 г. Каждая линия отражает среднегодовые темпы роста ВВП для отдельного региона, позволяя наблюдать как общие тенденции роста, так и сравнивать динамику между разными регионами за рассматриваемый период.

Согласно прогнозу, среднегодовые темпы роста ВВП для каждого региона в период с 2024 по 2036 гг. следующие: США – 2.48%; ЕС – 1,97%; Россия – 0,77%; Китай – 6,76%; Страны G-20–3,8%

Эти результаты показывают, что наибольший среднегодовой темп роста ВВП ожидается в Китае. США и страны G-20 также демонстрируют солидный рост, в то время как Россия показывает наименьший среднегодовой темп роста среди рассматриваемых регионов. При этом волатильность этих темпов для России в предстоящий период (в отличие от доковидных реалий) весьма высокая, уступая лишь волатильности экономики КНР. Возможно, это связано с тем, что сейчас экономика России основывается на военных заказах. Но после окончания СВО эти заказы не будут вносить свой существенный вклад в структуру экономики, а гражданская сфера не сумеет быстро заменить ВПК.

В экономике США и стран ЕС под влиянием политических решений также сохранится стремление правительств не снижать военные заказы, диктуя их якобы необходимостью военной помощи Украине за ее участие в «защите «демократических ценностей» западного мира». Возможно, что достаточно частые и интенсивные вмешательства государства в экономику не будут способствовать стабилизации ее динамики, а проявятся в виде повышенной волатильности изменения темпов роста ее ВВП.

Запасы газа, которых действительно не хватало в ЕС последние два года, сегодня стабилизировались на уровне не ниже 80% от имеющихся объемов газохранилищ, цена также стабилизировалась

Из анализа темпов ожидаемого роста ВВП в разных странах и объединениях вытекает новый и достаточно значимый вывод. Если в доковидный период (до 2020 г.), как следует из рис. 1, рецессии в США (падение ВВП до нуля) повторялись каждые 10 лет, то в постковидный период такого падения ВВП не ожидается ни в США, ни в других странах, (возможно, кроме РФ). В то же время колебания темпов роста ВВП заметны повсеместно, и их стремление к минимуму повторяется для всех экономик уже каждые 4–5 лет. Так, для России и США существенное снижение ВВП ожидается в 2024, 2027, 2031(2032) и 2036 гг. Такая «частичная рецессия» не менее опасна для экономики, чем переход ВВП ниже нулевого уровня. В то же время не исключено, что имевшая место быть во время COVID-19 рецессия 2021 г. может повториться в 2032 г. (спустя обычные 10–12 лет), если прогнозируемое в этот год падение ВВП США окажется по какой-либо причине более значимым и его величина опустится ниже нулевой отметки, тогда мы будем иметь и обычную рецессию и ее более мобильный уровень. Стоит отметить, что утверждение о сокращении периодов экономических колебаний вдвое находит весомое подтверждение в анализе прогнозной динамики инверсии доходности казначейских облигаций США. Инверсия кривой доходности, когда доходность краткосрочных облигаций превышает доходность долгосрочных облигаций, исторически рассматривается как надежный предиктивный индикатор рецессии.

Ускорение мобильности экономической динамики и диверсификация энергетики

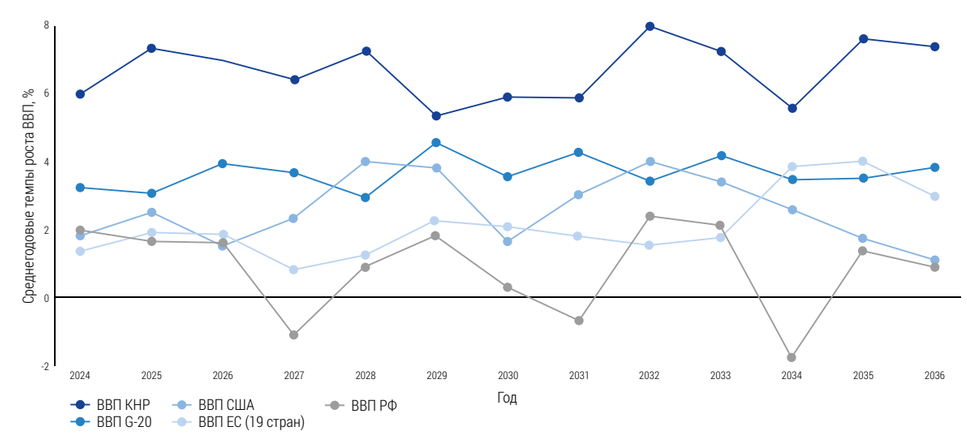
Двухкратное сокращение периодов колебаний темпов экономической динамики, во-первых, означает повышение ее мобильности за счет непредвиденных действий со стороны государства в ответ на чрезвычайные ситуации, возникающие в пандемийных и постпандемийных условиях.

Во-вторых, это привет к ускорению отклика энергоэкономической сферы на те инновации, которые в предстоящие десятилетия войдут в нашу жизнь. Речь идет, в первую очередь, о цифровизации, которая в виде роботизации и интеллектуализации труда охватит все сферы промышленности и жизненного быта населения. Только не надо думать, что при этом снизится роль энергетики. Спрос на электроэнергию для обработки «больших данных» вырастет примерно на 20% к 2036 г. То же самое будет наблюдаться при энергетическом переходе к ВИЭ, требующим роста обычных энергетических мощностей для энергоемкого производства солнечных панелей, накопителей и резервных систем микрогридов. Серьезным новым потребителем станет электрифицированная медицина.

Но нефть еще долго будет использоваться в различных сферах – и в транспорте, и в нефтехимии. А газ будет оставаться необходимым топливом для получения

Рис. 8. Изменение ВВП по годам (2024–2036 гг.) по основным странам

Источник: ИЭС



ЛЭП

Источник: leungchopan / depositphotos.com

электроэнергии, объемы потребления которой постоянно растут, и сырьем для водорода, обладающим высокими аккумулирующими возможностями для топливных и сетевых элементов электрических систем. Необходимо только заранее определить пути их диверсификации в различных сферах экономики.

Чистая энергетика – газовая и атомная, гидро- и водородная, будут востребованы еще долгое время, а их внедрение будет ускоренными темпами влиять на инновационные и инвестиционные решения государственных органов. А потому и экономика станет более мобильной. Это необходимо учитывать при разработке стратегических решений в целом в энергоэкономических сферах. Правительственные меры должны не тормозить эти решения, а способствовать их своевременному и комплексному внедрению в новую действительность. Учитывая особую роль энергетики не только как физического жизнеобеспечивающего фактора развития общества, но и как социального потенциала развития цивилизации, следует стремиться к тому, чтобы энергетика (в широком смысле слова – и топливная, и химическая, и биологическая, да и интеллектуальная) перестала быть заложником политических решений, а стала диктовать властным элитам свои приоритеты, свои стратегические установки, свои цели и свои «энергетические переходы». И делать это надлежит, исходя не из сиюминутных конъюнктурных и политизированных соображений в интересах определенной группы лиц и стран, а в интересах целых цивилизаций на Востоке и Западе. Нет и не может быть универсальных рецептов развития цивилизаций, но энергия – это универсальное действие, работа, развитие, эволюция, да и сама жизнь. А потому она должна диктовать ускоряющемуся развитию мира свои темпы и свои сроки освоения новых источников, новых видов, новых энергетических структур.

В то же время ускорение динамики не только энергоэкономического, но и в целом, социального развития общества является неизбежным, вытекая из анализа и прогноза общих тенденций развития миросистемы [7]. Ускоряются темпы демографического роста населения планеты, в основном за счет стран Азии и Юга, следовательно, растет и экономический и энергетический спрос; значительно ускоряются темпы транспортных перевозок (людей и груза). Резко сокращаются периоды массового внедрения инновационных технологий. Жизнь становится объективно более динамичной. Это вызывает необходимость, с одной стороны, более быстрого реагирования правительств и общественных структур на эти грядущие изменения, а с другой стороны, осторожности в навязыванию обществу новых отношений, противоестественных для перспективного развития миросистемы.

Выбор пути в условиях пандемийной опасности

Современный мир продолжает движение по тонкой грани между стабильностью и волатильностью, где каждое значительное событие имеет потенциал как укрепить, так и потрясти основы мировой экономики и энергетического сектора. Прогнозы указывают на то, что, несмотря на ожидаемое снижение экстремальной волатильности, неопределенность останется важной частью глобальной динамики. Потенциальные будущие вызовы, такие как цифровые пандемии, возможное повторение вирусологических атак на человечество, опасность космических столкновений, усиление техногенных и экологических катастроф (ураганов и землетрясений, пожаров и наводнений), проблемы глобального потепления и проблемы с доступом к чистой воде, а также многие другие пандемийные проблемы человечества требуют согласованного понимания и адекватных действий, не полагаясь на случайность политических и социальных действий правительств.

Концепция BRICS

Источник: Skorzewiak / depositphotos.com

Цена на нефть Brent демонстрирует общий нисходящий тренд в 2024 и 2025 гг., с некоторыми колебаниями по периодам. Наибольшее падение цены ожидается во втором квартале 2025 г.

Возможное размежевание интересов между странами БРИКС и Евросоюзом представляет собой новые фронты, на которых могут разгореться конфликты или, наоборот, быть найдены точки для сотрудничества. Сегодня и на среднесрочную перспективу до 2036 г. мир находится в условиях большой волатильности своего энергоэкономического и социально-экологического развития, вызванного как продолжением действий текущего всеобщего пандемийного состояния, так и ожиданием новых противоречий и вызовов мирового развития. Противоречия диктуются резкой неоднородностью демографического развития между странами G7 и «глобального Юга», прежде всего, растущей дифференциацией в вопросах макроэкономического и энергетического спроса, спроса на чистую воду и свежий воздух, уязвимостью по отношению к вирусологическим пандемийным заболеваниям, наличием богатых природных ресурсов и отсутствием инвестиций и технологий их эффективного освоения и т. д. В этом контексте роль «большой двадцатки» (G20), развитие объединений типа БРИКС, консолидация «стран Юга», возможная реорганизация Организации Объединенных Наций, а также исход предстоящих президентских выборов в США, возможные изменения в руководстве Китая, Индии да и других крупных мировых держав приобретают особую значимость. Ключевым вопросом становится, к каким политическим курсам прибегнут новые лидеры, будут ли они стремиться к компромиссам и сотрудничеству или же выберут путь конфронтации и обострения ситуации.

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ПОЛИТИКА №5(196) / 2024

И выбор этого пути надлежит сделать уже в ближайшее десятилетие. Варианты подобных сценариев:

- путь сохранения конфронтации между Западом и Евразией и борьбой за влияние на страны «глобального Юга»;
- путь компромисса между Европейским союзом, США и независимым от них БРИКС, который только начинает формироваться как независимое цивилизационное сообщество с собственным эколого-технологическим, ресурсно- инновационным и энергоэкономическим укладом, приоритетом собственного развития как большой части миросистемы;
- путь выстраивания новой глобальной взаимодополняющей цивилизации, устремленной к устойчивому развитию всего человечества как составной части единого космопланетарного мира.

К сожалению, нынешняя ситуация противостояния двух систем – российской и западной, не дает оснований рассчитывать на реализацию второго и третьего пути возможного переустройства мира. До 2036 г. наиболее вероятен путь продолжения конфронтации. Но этот же период станет временем «нового мышления», когда возникнет ощущение необходимости перестройки взаимоотношений, а новые политические решения и стратегии, которые будут приняты на фоне этих изменений, могут существенно повлиять на мировую стабильность. В условиях, когда глобальные вызовы требуют скоординированных действий, способность международного сообщества к сотрудничеству, а также готовность политических лидеров к диалогу и поиску общих решений становятся определяющими факторами будущего.

Россия и БРИКС

На наш взгляд, исходя из складывающихся условий, целесообразен поиск компромисса между Западным миром и БРИКС, который становится прообразом новой Юго-Восточной цивилизации человечества. В этом отношении он может стать самодостаточной частью общей миросистемы. Достаточно сказать, что территория 11 стран БРИКС превышает половину земной ойкумены, а население – достигает 70% всего человечества. ВВП БРИКС достигает 30% мирового уровня. Запасы природных ресурсов – самые крупные в мире, а добыча и экспорт нефти и газа превышает 45% объема мирового энергетического рынка, при этом БРИКС обладает новыми возможностями по их реализации. Страны БРИКС владеют 80% производства такого энергоемкого и стратегически значимого продукта как алюминий, а также самыми большими в мире запасами редкоземельных материалов (лития и титана), необходимыми для новых источников энергии и информационных систем. Малый и средний бизнес в странах БРИКС достигает 60% в структуре экономики. Страны БРИКС нуждаются в проведении «новой энергетической политики», определяющей развитие собственной ресурсно-инновационной экономики и энергетики и опирающейся на собственные возможности и интересы.

Для России участие в этой структуре потребует переориентации как внешней, так и внутренней экономики с более эффективным использованием сотрудничества со странами-экспортерами, а также развитием новых направлений в нефтегазохимии, строительстве, сельском хозяйстве, медицине, добыче и применении редкоземельных металлов. Нам нужно выстроить собственную политику в области низкоуглеродной энергетики, взвешенно подходить к вопросам энергетического перехода к ВИЭ, дабы не оказаться в зависимости от новых технологий, развиваемых на Западе.

Россия нуждается в новом обустройстве миросистемы, с ориентацией на паритет всеобщей безопасности цивилизаций, с сохранением их национальной идентичности, гармонию мира, уважение прав всех народов развиваться по своим социоприродным и социогуманитарным представлениям. Россия должна стать самодостаточной цивилизацией, с тем, чтобы чужие решения не диктовали нам военные и политические, экономические и энергетические, экологические и технологические решения, а способствовали превращению нашей общей земной ойкумены в единый планетарный Дом – Экос.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (госзадание № 075-00270-24-00) и Внешэкономбанка.

Заседание БРИКС

Источник: Reuters Alet Pretorius / asiannewsindia.com

Использованные источники

1. *Бушуев В. В., Мастепанов А. М., Первухин В. В., Шафраник Ю. К. Евразийская энергетическая цивилизация. К вопросу об «энергии будущего». Москва: ИЦ «Энергия», 2017.*
2. *Акаев А. А. Большие циклы конъюнктуры и инновационно-циклическая теория экономического развития Шумпетера-Кондратьева // Экономическая наука современной России. 2013. № 2 (61). С. 7–29.*
3. *Патрон П. А. Перспективы рецессии в экономике США и проблемы макроэкономической политики // США и Канада: экономика, политика, культура. 2019. № 6(49). С. 22–36.*
4. *Бушуев В. В., Конопляник А. А. Цены на нефть: анализ, тенденции, прогноз. Москва: ИД "Энергия", 2014.*
5. *Клепач А. Н. Российская экономика: шок от коронавируса и перспективы восстановления // Научные труды Вольного экономического общества России. 2020. № 2(222).*
6. *Бушуев В. В., Соловьев Д. А. Новая стадия глобализма и социоприродные циклы // Окружающая среда и энерговедение. 2023. № 1(17). С. 15–27. DOI:10.24412/2658-6703-2023-1-15-27.*
7. *Бушуев В. В., Клепач А. Н., Соловьев Д. А. Образ переходного мира: экономика, энергетическое развитие и природные аномалии // Энергетическая политика. 2022. № 3. С. 14–27. DOI:10.46920/2409-5516_2022_3169_14.*
8. *Клепач А. Н., Окорочкова А. А., Тиньков Н. Г. Трансформация мирового топливно-энергетического порядка: стратегические приоритеты [Электронный ресурс]. 2023. URL: https://ngv.ru/articles/transformatsiya-mirovogo-toplivno-energeticheskogo-poryadka-strategicheskie-prioritety/*
9. *Новак А. В. Энергетическая политика России: разворот на Восток // Энергетическая политика. 2023. № 6. С. 14–19. EDN: GIGVUG.*
10. *Бушуев В. В., Соловьев Д. А., Сокотущенко Н. В. Прогнозы и реальность: анализ стоимости нефти Brent и влияния встреч ОПЕК+ на мировые цены // Энергетическая политика. 2023. № 10(189). С. 10–17. DOI: 10.46920/2409-5516_2023_10189_10.*
11. *Kliesen K. L. Recession Signals: The Yield Curve vs. Unemployment Rate Troughs // Economic Synopses. 2018. № 16(2018). DOI: 10.20955/es.2018.16.*
12. *Шафраник Ю. К., Бушуев В. В., Мастепанов А. М. Потенциал «энергетической цивилизации» и геополитика // Энергетическая политика. 2015. № 5. С. 3–11.*
13. *Шафраник Ю. К. Революционные трансформации мировой экономики и Россия. 2020.*

УДК 620.9 DOI 10.46920/2409-5516_2024_5196_24 EDN: WNAGKA

Энергетический переход с инженерной точки зрения

Energy transition from an engineering perspective

Дмитрий ХОЛКИН
Генеральный директор АНО «Центр энергетических систем будущего «Энерджинет»
E-mail: dvh@internetofenergy.ru

Dmitry KHOLKIN
General Director of the Future Energy Systems Center «Energynet»
E-mail: dvh@internetofenergy.ru

Игорь ЧАУСОВ
Директор аналитического направления АНО «Центр энергетических систем будущего «Энерджинет»
E-mail: chi@internetofenergy.ru

Igor CHAUSOV
Director of Analytic branch of the Future Energy Systems Center «Energynet»
E-mail: chi@internetofenergy.ru

Серверная комната в дата-центре

Источник: scanrail / depositphotos.com

Аннотация. Обосновывается необходимость введения понятия энергетического уклада, позволяющего рассматривать процессы трансформации энергетики с инженерной позиции. Демонстрируется корреляция между энергетическими укладами и историческими этапами развития техники. На основе нового технологического пакета, складывающегося в настоящее время, дается техническая характеристика следующего энергетического уклада.
Ключевые слова: энергетический переход, технологический уклад, энергетический уклад, Интернет энергии.

Abstract. The necessity of introducing the concept of energy surges, which allows us to consider the processes of energy systems transformation from an engineering point of view, is underpinned. The correlation of energy surges and historical stages of technology development is demonstrated. Based on the new technological package, currently being developed, the technical characteristics of the following energy surge are given.
Keywords: energy transition, technological paradigm, energy surge, Internet of Energy.

История энергии — это история не переходов, а прироста. Меняется не только структура энергетического баланса, но и объем потребления

Дата-центр
Источник: Gorodenkoff / depositphotos.com

«Как вы яхту назовете, так она и поплывет…» – пели герои одного известного советского мультфильма. В этих словах есть определенная правда: в зависимости от того, какой термин вы используете для обозначения феномена, так вы и будете понимать сам феномен. Это особенно важно с позиции инженера, так как за его пониманием термина должна стоять практическая схема действия, конкретное представление о создаваемой системе.

Для определения периодов трансформации энергетики чаще всего используется понятие энергетического перехода. Оно имеет следующее каноническое определение: «Значительное структурное изменение в энергетической системе, в ходе которого увеличивается доля новых первичных источников энергии и происходит постепенное вытеснение старых источников в общем объёме энергопотребления» [1]. А значит, для того, чтобы совершить очередной энергетический переход, нужно, говоря несколько утрированно, строить новые первичные источники энергии. Но так ли это? В этом ли суть трансформации энергетики? Насколько данное понятие помогает объяснить прошлое и предсказать будущее?

Обсудим это понятие и его альтернативы с инженерной точки зрения, чтобы лучше понимать, какая нам предстоит работа в энергетической отрасли на ближайшие 10–20 лет.

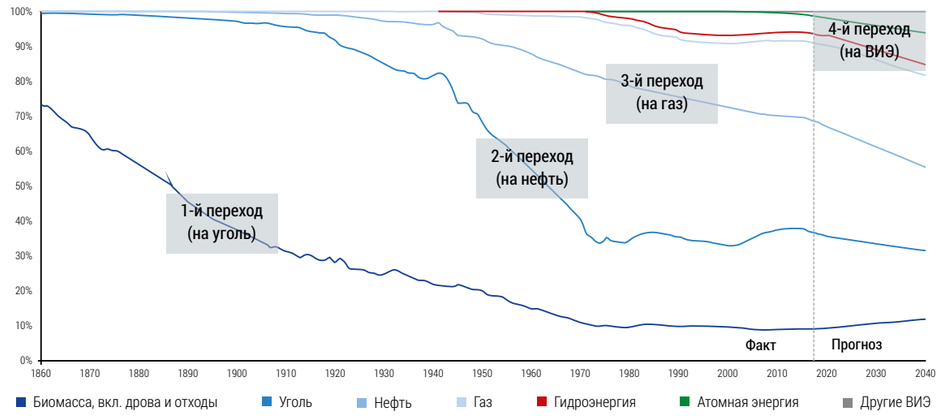


Рис. 1. Четыре энергоперехода

Источники: ИНЭИ РАН, МШУ Сколково

Критика понятия энергоперехода

Одним из первых понятие энергоперехода ввел в оборот чешско-канадский ученый и политический аналитик Вацлав Смил. Он его определяет как «время, прошедшее между введением нового источника энергии или первичного двигателя и таким состоянием, когда можно заявить о том, что они заняли существенную долю общего рынка». В. Смил подтверждает свое определение аналитикой по изменению энергобалансов стран и мировой экономики по отдельным видам первичных источников энергии в процентах от общего объёма энергопотребления. Этот подход убедительно демонстрирует 3 исторических этапа, в которых происходит появление в энергобалансе значительной доли новых источников энергии [2]:

- первый энергопереход – от биотоплива (дрова, древесный уголь и т. п.) к углю (доля угля в первичной энергии в 1840 г. – 5%, в 1900 г. – 50%);
- второй энергопереход – увеличение доли нефти в первичной энергии (1915 г. – 3%, 1975 г. – 45%);
- третий энергопереход – расширение использования газа (1930 г. – 3%, 2017 г. – 23%).

По исторической аналогии и существующим трендам делается прогноз, что четвёртый энергопереход будет переходом к возобновляемым источникам энергии: ветру, солнцу, приливам и т. д. (2017 г. – 3%, 2022 г. – 12,2%). В целом, конечно, рост впечатляющий.

Может показаться, что понятие энергоперехода и его историческая подоплека вполне прозрачны и понятны. Однако есть и альтернативные точки зрения. В частности, французский историк науки, техники и окружающей среды Жан Батист Фрессоз утверждает, что «если история и учит нас чему-то, так это тому, что энергетического перехода никогда не было». Мы не переходим от дерева к углю, затем от угля к нефти, затем от нефти к ядерной энергии. История энергии – это история не переходов, а дополнений (прироста) [3].

Путаница, как он считает, возникла из-за того, что меняется не только структура энергетического баланса, но и объем потребления. Если посмотреть на огромное количество энергии, потребляемой человечеством, картина показывает постоянно растущее потребление, которое удовлетворяется постоянно растущим предложением всех первичных источников энергии, доступных человечеству. Например, увеличение использования угля в XIX веке не заменило потребление древесины, а привело даже к увеличению потребления древесины в экономике в целом. Потребление угля в абсолютном выражении за последние 200 лет только росло (см. рис. 2.). Это серьезная критика, указывающая на недостаточную релевантность понятия энергоперехода реально происходившим в истории процессам.

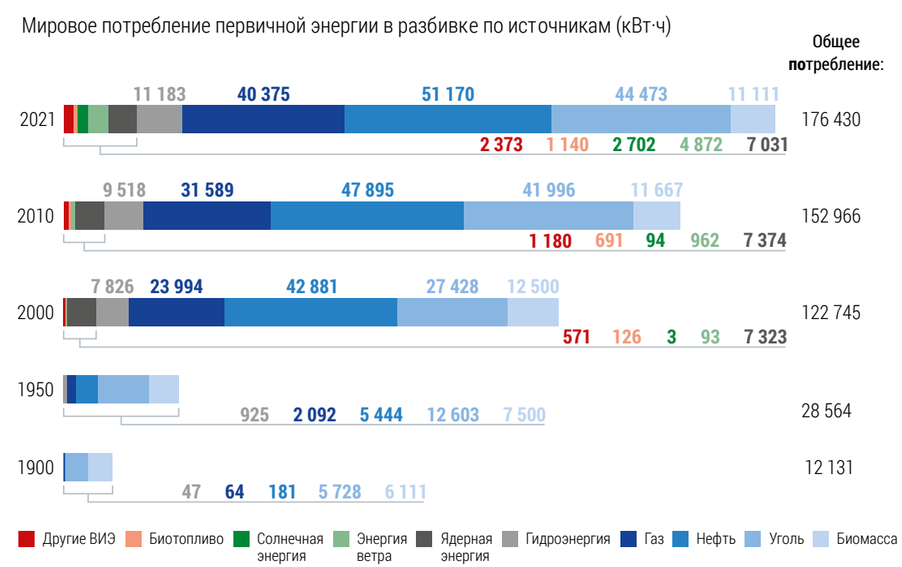
Другой аспект критики понятия энергетического перехода связан с его акцентом исключительно на изменениях видов топлива (первичных источников энергии) и связанных с ними технологий: «Энергопереход – это изменение видов топлива (например, с дерева на уголь или с угля на нефть) и связанных с ними технологий (например, с паровых двигателей на двигатели внутреннего сгорания)» [4]. В то же время другие авторы пытаются более широко определить объект энергетического перехода: «Это созвездие входов и выходов энергии с участием поставщиков, дистрибьюторов и конечных пользователей, а также институтов регулирования, преобразования и торговли» [5], т. е. трансформация отрасли специфицируется качественными изменениями технологического, организационно-деятельностного и экономического характера. Происходить этот процесс может по всей технологической цепочке от присвоения первичной энергии до ее превращения в полезную работу.

Эту мысль можно пояснить ярким историческим примером столетней давности из времен начала масштабной электрификации. Технические решения для перехода промышленности на электричество были готовы уже в 80-е годы XIX века, но до 1910 г. предприниматели выбирали старый добрый пар. Почему? На фабриках того времени производство организовывалось вокруг единой паровой машины, вращающей центральный вал. Вся логика производства строилась на этой технологической особенности. Некоторые предприниматели пробовали заменить паровую машину на электромотор, но экономия не оправдывала необходимые инвестиции. Для электрической революции не хватало главного – изменения образа мышления. Ведь электромоторы были способны на большее: они позволяли доставлять энергию точно тогда и именно туда, когда

Прислушиваясь к критике понятия энергетического перехода, можно отметить, что каноническое его определение слишком узко, однобоко трактует цели и предмет рассматриваемых процессов

Рис. 2. Динамика потребления топливных энергетических ресурсов с 1900 г.

Источник: Our World in Data



и где она была нужна. Это создавало возможности для организации труда по логике производственной линии, а не по логике ведущего вала. Электричество стало экономически привлекательным тогда, когда изменилась структура деятельности и производственных отношений. Именно это дало скачкообразный рост производительности труда в промышленности.

Еще один важный вопрос вызывает дискуссию относительно рассматриваемого понятия. Он касается целей энергетического перехода. Авторы из международного агентства IRENA делают упор на климатическое целеполагание: «В основе энергетического перехода лежит необходимость сокращения выбросов CO_2 для ограничения изменения климата» [6]. Но есть ученые и эксперты, которые видят цели иначе: «Энергетический переход должен быть подобен энергетической «трансформации» или «революции», разрушительной или радикальной трансформации как технологий, так и социальных практик, часто направленной на расширение доступа к энергии или изобилию» [7]. Эта цитата указывает на важную мысль о том, что энергетический переход всегда приводил и, вероятно, должен приводить и далее к развитию экономики и общества. С политэкономической позиции энергетический переход связан, в первую очередь, с «просьюмеризмом» и «энергетической демократией», а именно с «перераспределением политической и экономической силы в отношениях между владельцами средств производства энергии и обществом» [8].

Газовые электростанции Irsching 4 и 5, Германия
Источник: hodmysley.ru

Таким образом, прислушиваясь к разносторонней критике понятия энергетического перехода, можно отметить, что каноническое его определение слишком узко, однобоко трактует цели и предмет рассматриваемых процессов, в то время как они представляют собой гораздо более сложное и разнообразное явление. Кроме того, данное понятие недостаточно фундировано историческими исследованиями. Жан Батист Фрессоз подчеркивает, что термин «энергетический переход» впервые был использован политиками, а не историками, для описания цели, которую необходимо достичь в будущем, а не как инструмент для анализа прошлых тенденций [3].

Для того, чтобы используемое понятие хорошо отражало историческую логику изменений в отрасли, необходимо, чтобы оно указывало на пакет сопряжённых и синхронно появившихся технологий, на изменения по всей технологической цепочке: от присвоения первичной энергии до её превращения в полезную работу, на появление новых экономических практик, новых сторон жизнедеятельности, обеспечивающих развитие экономики и общества. Каноническое понятие энергоперехода в этом качестве не работает. Для более адекватного анализа сложных процессов трансформации энергетики с инженерной точки зрения необходим поиск другого понятия.

Изучение понятия технологического уклада

Близким к искомому является понятие технологического уклада, так как оно основывается на историческом анализе появления и масштабного использования новых технологий и связанными с этим экономическими циклами развития общества. Технологический уклад обычно определяется как совокупность сопряжённых производств, имеющих единый технический уровень и развивающихся синхронно [9].

В России данное понятие ввели и развивали экономисты Д. С. Львов и С. Ю. Глазьев, а за рубежом синонимичный термин «технико-экономическая парадигма» был введен в дискурс английским экономистом Кристофером Фримэном и развит его ученицей, британо-венесуэльским ученым Карлотой Перес. Данное понятие связано, с одной стороны, с марксистской традицией, с другой стороны, с работами таких экономистов, как Николай Кондратьев и Йозеф Шумпетер, занимавшихся периодизацией экономического развития и волнами инноваций, поэтому оно предполагает комплексное рассмотрение сферы производства и экономических отношений со всеми присущими ей явлениями (распределением доходов, технологиями, организационными и управленческими методами) [9].

Рис. 3. Промышленные революции по Клаусу Швабу

Образование каждого нового уклада связано с технологической революцией, которую Карлота Перес определяет как мощный и хорошо заметный кластер новых и динамичных технологий, продуктов и отраслей, способных вызвать переворот во всей ткани экономики и стимулировать долгосрочный подъем развития. В связи с научным и технико-технологическим прогрессом посредством технологических революций происходит переход от более низких укладов к более высоким [9].

Однако с периодизацией укладов и технологических (промышленных) революций все не так просто. Благодаря книге немецкого экономиста, основателя и бессменного президента Всемирного экономического форума в Давосе Клауса Шваба «Четвёртая промышленная революция», наиболее расхожим является выделение трех промышленных революций в прошлом, и четвертой, текущей революции. Первая промышленная революция (конец XVIII в.) состоит в переходе от ручного труда к машинному и связана с появлением механического ткацкого станка и паровой машины. Вторая промышленная революция (конец XIX в.) ассоциируется с электричеством, развитием конвейерного производства, системы телефонной связи и нефтяной экономики. Третья промышленная революция (конец XX в.) заключается в автоматизации производственных процессов и масштабным распространением информационных технологий. Четвертая промышленная революция связана с широким внедрением в производство киберфизических систем [10].

Однако, если мы посмотрим периодизацию технологических укладов у российских экономистов Д. С. Львова и С. Ю. Глазьева, то обнаружим не 4, а 6 промышленных революций, из которых последняя, разворачивающаяся на наших глазах, характеризуется кроме информационно-коммуникационных технологий также нано- и биотехнологиями [9].

Последняя периодизация основывается на работах другого российского экономиста – Николая Кондратьева, который еще в 1920-е гг. описал периодические циклы сменяющихся подъёмов и спадов современной мировой экономики продол-

Важно выйти на характерные признаки технологического типа, так как они позволяют определять инженерные основы для развития энергетики и выявлять особенности влияния энергетики на экономику

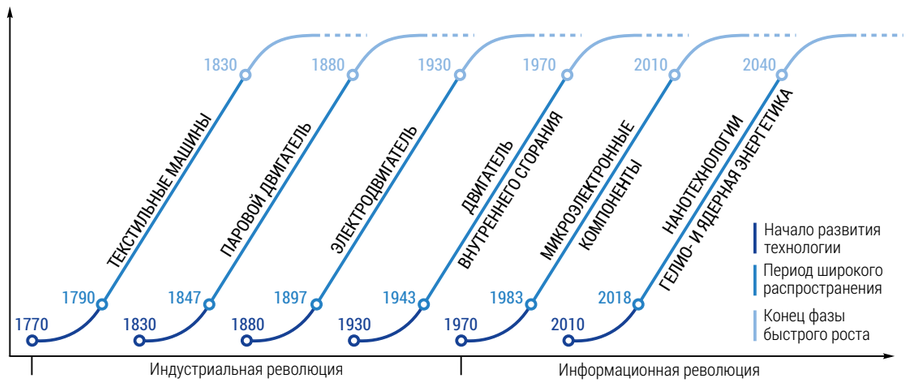
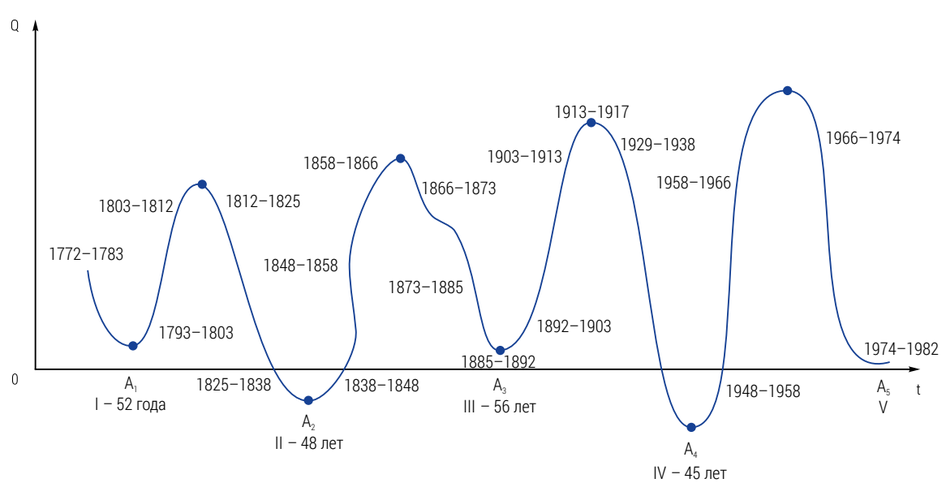


Рис. 4. Смена технологических укладов по Сергею Глазьеву

жительностью 45–60 лет. Н. Кондратьев в своих работах, базирующихся на эмпирическом анализе большого числа экономических показателей различных стран на довольно длительных промежутках времени, охватывавших 100–150 лет, отмечал, что в долгосрочной динамике некоторых экономических индикаторов наблюдается определённая циклическая регулярность, в ходе которой на смену фазам роста соответствующих показателей приходят фазы их относительного спада с характерным периодом этих долгосрочных колебаний порядка 50 лет. В дальнейшем он развил, охарактеризовал и обосновал обнаруженную закономерность. Многие исследователи связывают смену этих К-волн с технологическими укладами. Прорывные технологии открывают возможности для расширения производства и формируют новые секторы экономики, образующие новый технологический уклад.

Наблюдается некоторая несостыковка периодов промышленных революций у Шваба и смен технологических укладов у Львова и Глазьева. Помимо этого, существует еще множество других датировок технологических революций, например, в работах Ю. В. Яковца [11], С. П. Капицы [12], которые в большей или меньшей степени отличаются от первых двух. По всей видимости, это связано с тем, что разные авторы выбирают разные характерные признаки для периодизации.

Рис. 5. Экономические циклы по Николаю Кондратьеву



В нашей работе важно выйти на характерные признаки технологического типа, так как они позволяют определять инженерные основы для развития энергетики, а также выявлять особенности влияния энергетики на другие отрасли экономики. Специалисты по истории техники выделяют еще столетние циклы, связанные с научными открытиями, изобретениями и техническими нововведениями. В определенной степени они совпадают с временными границами кондратьевских циклов, объединенных в пары. При этом некоторые исследователи различают в этих парах «волны-предвестники», по появлению которых можно судить о следующей, более мощной технологической революции [13]. В этом подходе мы можем выделить 3 укрупненных технологических уклада, различать которые мы будем на основе этапов развития техники.

В своем развитии техника имеет ряд этапов: орудийный (его мы далее рассматривать не будем), механический, электрический (или электромеханический) и электронный (или киберфизический). Каждый из последующих этапов качественно отличается от предыдущего и включает его технологии в свой состав как неотъемлемый элемент. Каждый этап определяется специфическим технологическим пакетом, придающим новые возможности для техники, и задает тем самым новую форму производства. Начало механического этапа совпадает со становлением машинно-фабричного способа производства. Электрификация технических средств дает начало конвейерным формам труда. Начало киберфизического этапа автоматизации приходится на период становления качественно нового, системно-автоматизированного способа производства.

На механическом этапе массово появилась практика проектирования, на электрическом – практика исследования, а на электронном этапе предположительно появилась практика программирования

Таким образом, для периодизации технологических укладов мы будем использовать этапы развития техники, что лучше соответствует целям анализа истории развития технологий и отраслей промышленности, в т. ч. энергетики. Данный подход хорошо коррелирует с экономическими циклами Кондратьева и промышленными революциями (см. таблицу 1). Правда, в нашем случае третья и четвертая промышленные революции по Швабу объединяются в одну, в которой бурные процессы автоматизации производства и информатизации деловых процессов конца XX в. являются «волной-предвестником» нынешней революции киберфизических систем.

Таблица 1. Соотношение между экономическим циклами Кондратьева, этапами развития техники и промышленными революциями по Клаусу Швабу

Периоды времени	Волны Кондратьева	Этапы развития техники	Промышленные революции
1750–1775	Первая волна	Механический	Первая промышленная революция
1775–1800			
1800–1825			
1825–1850			
1850–1875	Вторая волна		
1875–1900		Электрический	Вторая промышленная революция
1900–1925	Третья волна		
1925–1950			
1950–1975	Четвертая волна		Третья промышленная революция
1975–2000		Электронный (киберфизический)	
2000–2025	Пятая волна		
2025–...	Шестая волна		Четвертая промышленная революция

Угольная котельная в Ижевске

Источник: Пресс-служба ПАО «Т Плюс»

Предлагаемый подход позволяет нам четко соотнести каждый исторический этап промышленного развития цивилизации с той или иной парадигмой техники, а значит – лучше понять особенности технического устройства как прошедших технологических укладов, так и нового, становящегося на наших глазах. Важно также отметить, что за каждым таким изменением парадигмы техники стоит и изменение способов и средств мышления о системах. Исследователи отмечают, что на механическом этапе массово появилась практика проектирования, на электрическом – практика исследования, а на электронном этапе предположительно появилась практика программирования (в широком смысле данного слова) [14].

Под энергетическим укладом понимается установившийся порядок после «революционной» фазы энергоперехода, когда новый энергоресурс уже занял значимую долю в балансе и продолжает свой рост

Конструирование понятия энергетического уклада

Понятие энергетического уклада строго не введено. Иногда под ним понимается установившийся порядок после революционной фазы энергетического перехода, когда новый энергетический ресурс уже занял значимую долю в балансе и эволюционно продолжает свой рост. Иногда – качественно изменившееся технологическое устройство энергетики, характерное для того или иного технологического уклада. Более продуктивно с инженерной точки зрения рассматривать второй вариант трактовки данного понятия. Его мы и будем использовать далее.

Очень близким к энергетическому укладу понятием, которое изредка встречается в литературе, является энергетическая эпоха. Выделяются 4 эпохи: энергии воды, пара, электричества, атомной энергетики [15]. Обратите внимание, что в названии эпох, кроме одного случая (эпохи атомной энергетики), не присутствует указание на тот или иной энергоресурс. В отличие от энергетических переходов, которые принято маркировать названиями доминирующих источников энергии (уголь, нефть, газ, ВИЭ), энергетические эпохи соотносятся с целостными характеристиками систем энергоснабжения и маркируются доминирующими способами превращения энергии в полезную работу, что нам и требуется.

Суть каждой эпохи состояла в том, что появившееся технологическое ядро обеспечивало формирование новых свойств систем энергоснабжения, которые были принципиально важны для появления и качественного развития новых отраслей экономики, практик, сторон жизнедеятельности. Проследим это на примере развития промышленности:

1. В эпоху энергии воды (со времен Древнего Рима) первичная энергия воды (или ветра) превращалась в механическую и могла использоваться для выполнения полезной работы. Однако это было возможно сделать только в месте непосредственного присвоения первичной энергии. По этой причине Европа в Средневековье стала новым центром экономического роста, так как обладала огромным водно-энергетическим потенциалом.
2. В эпоху пара (начало датируется XVIII в.) удалось разнести в пространстве место добычи первичной энергии (прежде всего, угля) и место ее превращения посредством пара в полезную работу. Это позволило более свободно размещать промышленные производства с учетом других факторов (доступ к сырью, трудовым ресурсам, рынкам сбыта) и при этом наращивать машинизацию труда.
3. В эпоху электричества (начало датируется концом XIX в.) появилась еще одна «степень свободы», содержащаяся в гибкой и точечной доставке энергии к месту производства полезной работы. Она обеспечивалась превращением первичной энергии в более удобную для транспортировки и распределения вторичную форму – в электричество. В частности, это новое свойство энергетики позволило перейти к конвейерному производству и в разы увеличить производительность труда.
4. Эпоха атомной энергетики (начало датируется второй половиной XX в.) не признается специалистами однозначно, так как не очевидно, что

Строительство Белорусской АЭС-1

Источник: Аркадий Сухонин / «Росатом»

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ПОЛИТИКА №5(196) / 2024

в данный период времени появились качественно новые энергетические возможности для потребителей. Однако, в эту эпоху сформировались большие энергетические системы, которые выступили инфраструктурной основой для концентрации промышленных объектов и масштабной урбанизации.

Сопоставляя энергетические эпохи с периодизацией развития техники, мы увидим хорошую корреляцию: эпоха энергии воды поддерживала орудийный уклад, эпоха энергии пара обеспечила переход к механическому укладу, эпоха электричества привела к электрификации промышленного производства. А вот период появления и развития атомной энергетики, скорее всего, надо отнести к некоторому этапу эпохи электричества, а не к самостоятельной эпохе. Хотя нужно признать, что в конце XX века действительно появились «предвестники» новой энергетической эпохи.

Чтобы полноценно перейти от понятия энергетической эпохи к понятию энергетического уклада, который должен четко охарактеризовать особенности технологического устройства энергосистем, нам потребуется более детально разобрать, как менялся технологический пакет в энергетике. Для этого необходимо идентифицировать для каждой эпохи базовые технологии преобразования энергии, передачи энергии, управления энергопотоками, а также принципы инженерной сборки систем энергетики.

Прежде всего, смена энергетических укладов связана со сменой определяющей технологии преобразования и передачи энергии (см. таблицу 2). До появления в XIX в. первых паровых машин основным способом преобразования и передачи энергии оставались парус, ветровое и водяное колесо, а также механические передачи. Паровая машина, а затем и другие тепловые машины – турбины и двигатели внутреннего сгорания – позволили преобразовывать более концентрированную энергию ископаемого топлива в механическую энергию. С освоением тепловых машин передача энергии в промышленных и транспортных системах (паровозах, пароходах) начала осуществляться пневмогидравлически – при помощи трубопроводов. С постепенным освоением электрических машин – генераторов, трансформаторов, электродвигателей – началась эпоха электричества, в рамках которой различные виды первичной энергии преобразуются в форму электроэнергии, передаваемой по сетям переменного тока с синхронным режимом. Кроме того, смена энергетических укладов связана и со сменой технологий и принципов сборки (интеграции) энергосистем и управления ими от ручного управления локальными механическими системами (мельница, парусник) до автоматического управления большими энергетическими системами.

Необходимо отметить, что технологии прежних укладов не уходят из обращения при их смене, но место этих технологий в энергосистемах переопределяется и оказывается подчинено логике устройства энергосистем на основе новой ведущей технологии. Так, и в современных электростанциях используются механические, гидравлические и пневматические узлы, передачи, агрегаты и системы, но их использование подчинено логике работы генераторов по производству электроэнергии.

После, введя понятие энергетического уклада, мы можем подступиться к обсуждению технологического устройства новой эпохи. Её уникальное содержание в соответствии с ранее введенными представлениями о развитии техники характеризуется переходом к электронным, киберфизическим системам.

Таблица 2. Инженерно-технологические аспекты различных энергетических укладов

Энергетический уклад	Технология преобразования энергии (генерация, потребление)	Технология передачи энергии (транспорт, распределение)	Технология управления	Принцип системной сборки
I. Энергии воды	Механические машины (парус, ветроколесо, водяное колесо)	Механическая передача	Ручное управление	Прямой привод от источника энергии
II. Пара	Тепловые машины (паровая машина, паровая турбина, двигатель внутреннего сгорания)	Гидравлическая, пневматическая, механическая передача	Аналоговое диспетчерское управление	Локальная линейная группа приводов, подключенных к паропроводу или валу
III. Электричества	Электрические машины (генератор)	Электрическая передача с синхронным режимом	III(а). Аналоговое автоматизированное управление III(б). Цифровое автоматизированное управление	Централизованная (древовидная) сеть с иерархическим (диспетчерским) управлением
IV. Интернета энергии	Электронные и электрохимические машины (солнечные панели, инверторы и др. преобразователи, аккумуляторы, топливные элементы)	IV(а). Электрическая передача с синхронным режимом IV(б). Пакетная электрическая передача (в сетях с управляемыми вставками постоянного тока) IV(в). Беспроводная электромагнитная пакетная передача	Цифровое автоматическое (роботизированное) управление (с элементами слабого искусственного интеллекта)	Децентрализованная (ячеистая) сеть с распределенным (транзакционным) управлением

Высоковольтные ЛЭП
Источник: Johannes Plenio / Pixabay

Характеристика нового энергетического уклада

В основе нового уклада находятся технологии твердотельной инженерной физики (электроники и электрохимии) как основного способа преобразования энергии из одних видов в другие или изменения параметров энергетических потоков, осуществляемого на уровне электронной структуры кристаллов и гетероструктур. Например, солнечные панели, компоненты инверторов и других силовых устройств представляют собой «системы на кристалле», которые преобразуют излучение в электроэнергию и позволяют осуществлять управление параметрами электрического тока при его прохождении через эти компоненты. Компоненты электрохимических установок, таких как аккумуляторы или топливные элементы, также представляют собой твердотельные и композитные элементы с микроскопической или даже наноразмерной функциональной структурой поверхности, осуществляющие прямое преобразование энергии из электрической формы в химическую и обратно. Особенностью этих технологий является получение электрической энергии без промежуточного получения энергии пара и вращения валов машин.

Пока «электронная генерация» интегрируется в системы передачи электроэнергии предыдущего уклада: электроэнергия, например от ВИЭ, транспортируется при помощи сетей переменного тока с синхронным режимом электропередачи. Но постепенно появляются и новые возможности для передачи энергии, основанные на активном управлении параметрами режима за счет устройств силовой электроники, таких как энергетические роутеры – управля-

Постепенно появляются и новые возможности для передачи энергии, основанные на управлении параметрами режима за счет устройств силовой электроники, таких как энергетические роутеры

Электросети станут сетями «смешанного» тока: множества участков сетей переменного и постоянного тока, связанных транзитами. На смену синхронному режиму придет управление перетоками

емые вставки постоянного тока. Интеграция большого числа источников энергии и гибкости, включенных в систему через инверторы, а также использование энергетических роутеров поменяют принцип передачи электроэнергии. Электрические сети станут сетями «смешанного» тока: множества участков сетей как переменного, так и постоянного тока, связанных транзитами. На смену синхронному режиму придет активное управление перетоками через вставки и участки постоянного тока. В пределе применение указанных технологий позволит реализовать пакетную передачу электроэнергии между отдельными режимными участками и зонами сети, аналогичную передаче информации в современных компьютерных сетях. Наконец, стоит ожидать появления и аналогичных современной беспроводной связи систем беспроводной передачи электроэнергии. Такого типа системы малых мощностей, используемые для зарядки персональной цифровой техники, уже появились в массовой практике. Следующий шаг – выход на рынок систем беспроводной зарядки электрического транспорта и дронов. Но можно ожидать и появления более мощных систем беспроводной передачи электроэнергии, в том числе с использованием лазерной техники. Особенностью новых технологий передачи энергии является дискретность энергетических потоков и активное управление их режимами.

Все это открывает возможность и для смены принципов сборки энергосистем и управления ими. Распределенные электронные источники энергии и энергетической гибкости, связанные электрическими сетями с активным управлением параметрами режима или даже пакетной передачей энергии позволяют перейти от энергосистемы как древовидной, централизованно управляемой диспетчерами сети к ячеистой структуре энергосистемы. В новом укладе энергосистема будет представлять собой децентрализованную и гетерархическую ячеистую (ризоматическую) сеть распределенной генерации, микрогридов и просьюмеров. Управление такой энергосистемой будет осуществляться не за счет централизованного диспетчирования, а за счет распределенного трансакционного управления договорными перетоками энергии и ее распределением в рамках трансакций между пользователями – генераторами, просьюмерами, потребителями и провайдерами энергетических услуг. Особенностью технологий интеграции и управления в энергосистемах нового уклада является преодоление порядкового роста сложности управления за счет применения цифровых технологий и искусственного интеллекта.

Этот набор технологий позволяет преобразовывать в электрический ток со стабильными параметрами солнечную и ветровую энергию, а также энергию новых типов энергоносителей (водорода, метанола, аммиака и т. д.), управлять параметрами режима передачи электроэнергии, формировать электрические сети со сложно-замкнутой топологией, управлять потреблением электроэнергии за счет частотно-регулируемых приводов. В пределе можно себе представить энергосистемы, полностью построенные на новом технологическом пакете, их организация

ВЭС в Северном море
Источник: equinor.fotoware.cloud

СЭС Apodi в Бразилии
Источник: equinor.fotoware.cloud

и принципы работы будут очень напоминать информационно-коммуникационные системы и интернет.

В рамках такого энергетического уклада реализуются новые потребительские свойства энергоснабжения, недоступные в предыдущих укладах. Эти свойства – автономность, мобильность и интеллектуальность энергоснабжения.

Автономность – возможность эффективного использования локальных, в первую очередь, низкоуглеродных источников энергии для обеспечения энергобезопасности и дешевого, доступного энергоснабжения, зависимость которого от поставок электроэнергии от крупной централизованной генерации и поставок топлива значительно снижена по сравнению с энергосистемами предыдущего уклада. На практике речь идет о существенной диверсификации источников энергии при помощи местных ресурсов. Это свойство достигается эффективным образом за счет управления энергетической гибкостью, позволяющей повышать КИУМ генерации на основе ВИЭ и других локальных источников энергии.

Мобильность – возможность быстро развернуть систему энергоснабжения вплоть до применения собственно мобильных систем энергоснабжения. Компактизация источников энергии, рост плотности их мощности, переход к использованию распределенных источников энергии с малыми мощностями и габаритами, достигаемое применением ВИЭ, аккумуляторов и топливных элементов, позволяют быстрее и с меньшими трудозатратами создавать новые системы энергоснабжения, как автономные, так и присоединенные к электрическим сетям из предыдущего уклада. Эти же факторы обеспечивают рост удельной мощности транспортных энергоустановок, тяговооруженности транспорта, его весового совершенства и, таким образом, обеспечивают возможность появления новых видов транспорта – от уже распространенных электросамокатов и электроскутеров до испытываемых аэротакси, тяжелых дронов и проектируемой водородной сверхзвуковой пассажирской авиации.

Интеллектуальность связана с возможностью гибкого автоматического управления существенно более сложными энергосистемами. Причинами растущей сложности являются уже упомянутая диверсификация источников энергии и их гибридизация, порядковый рост числа акторов, задействованных в производстве, передаче и потреблении энергии, запрос на кастомизацию электроснабжения, выражающуюся в том, что качество электроэнергии, ее стоимость, ее происхождение, ее углеродный след зависят от выбора потребителя. Кроме того, в условиях нового уклада возникают мультиинфраструктуры – системы, в которых электроснабжение объединено в технологический комплекс с теплоснабжением, водоснабжением и водоотведением, вентиляцией

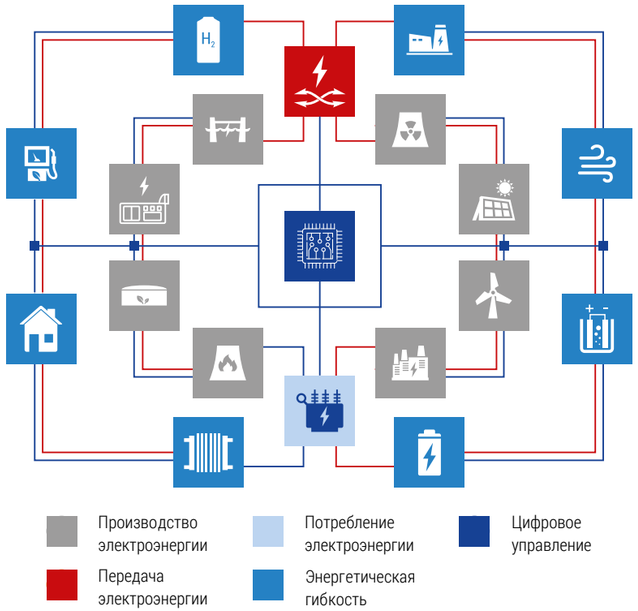


Рис. 6. «Ген» нового энергетического уклада – ячейка Интернета энергии

и кондиционированием, газоснабжением, зарядкой и заправкой электрического и водородного транспорта, переработкой отходов. Управление такими мультиинфраструктурными комплексами также требует свойства интеллектуальности.

На практике мы видим, что в мире не только вводятся колоссальные мощности ВИЭ (предвестники новой эпохи), но и создаются принципиально новые подходы, технологии и решения по организации энергосистем, что является инженерной сутью нового энергетического уклада [16]. Без этого невозможно достичь декларируемых целей по декарбонизации, не обеспечить дальнейшего развития экономики и общества на базе открывающихся энергетических возможностей.

В России также реализуются программы развития возобновляемой энергетики, промышленного освоения технологий накопления энергии и водородной энергетики, перехода к электромобильности и цифровой трансформации отрасли. Однако в России не сформировались еще собственные представления о том, как использовать возможности нового энергетического уклада не только для выполнения климатических обязательств, но и для развития экономики и общества. Для этого как раз и следует перейти от политического понятия энергетического перехода к инженерному понятию энергетического уклада. Это позволит поменять точку зрения и увидеть, насколько велика значимость технологического развития энергетики для страны. Ведь только решения нового энергетического уклада позволят энергетике стать более живучей в условиях климатических изменений, смогут радикально повысить производительность хозяйственной системы за счет роста ее энерговооруженности и интенсивности процессов, позволят масштабно экономически осваивать территории Сибири, Дальнего Востока и Арктики, обеспечат переход к новой мобильности и роботизации в транспорте, промышленности и сельском хозяйстве, будут содействовать постиндустриальному развитию городов на основе динамичных требований новых экономических практик и высоких экологических стандартов.

Необходимо отметить, что существенные заделы в сфере подготовки перехода к новому энергетическому укладу сделаны в рамках Национальной технологической инициативы по направлению «Энерджинет». Разрабатываются критические технологии, реализуются пилотные проекты, готовятся нормативные правовые и технические документы. В частности, разработан архитектурный подход (фреймворк) к созданию на основе новых принципов и технологий энергетических систем следующего поколения, так называемого «Интернета энергии» [17]. Уже с 1 июля текущего года решением Росстандарта вводятся в действие 2 предварительных национальных стандарта по терминам и определениям, а также по архитектуре систем Интернета энергии.

Четвертую энергетическую эпоху (уклад), чтобы она соответствовала современному этапу развития техники, следовало бы назвать эпохой цифровой энергии или эпохой Интернета энергии. Она, с инженерной точки зрения, точно не может быть маркирована только атомной энергетикой или ВИЭ. Новый энергетический уклад станет сложным конгломератом старых и новых источников энергии, множества просьюмеров, распределенной генерации, интеллектуальных сетей, мобильных устройств, зарядных инфраструктур, цифровых энергетических сервисов. Понимая это, давайте «яхту» сразу назовем правильно!

Заключение

С инженерной позиции, для исторического анализа развития энергетики, а также для определения очертаний ее будущего, не годится понятие энергетического перехода, оно слишком однобоко отражает процессы трансформации. Лучше подходит сконструированное нами понятие энергетического уклада. Во-первых, в нем речь идет о целостной технологической цепочке от получения первичной энергии до её превращения в полезную работу, а не только об источниках энергии. Во-вторых, увязка энергетических укладов с технологическими революциями указывает на объективные предпосылки для развития энергетики и приобретения ею новых полезных свойств. И в-третьих, рассматривая корреляции между трансформацией энергетики и процессами революционных изменений в промышленности, в транспорте, в сельском хозяйстве, в социальной жизни мы можем с очевидностью судить о влиянии новой энергетики на экономический рост и развитие общества.

Цифровой двойник месторождения
Источник: imghub.ru

Использованные источники

1. *URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Энергетический_переход*
2. *Smil, Vaclav. Energy Myths and Realities: Bringing Science to the Energy Policy Debate.*
3. *POUR UNE HISTOIRE DÉSORIENTÉE DE L'ÉNERGIE Jean-Baptiste Fressoz*
4. *Hirsh, F. Richard. Jones, F. Christopher. History's contributions to energy research and policy.*
5. *Araújo, Kathleen. The emerging field of energy transitions: Progress, challenges, and opportunities.*
6. *URL: https://www.irena.org/Energy-Transition/Outlook*
7. *Sovacool, K. Benjamin. How long will it take? Conceptualizing the temporal dynamics of energy transitions.*
8. *Jakimowicz, A. The Energy Transition as a Super Wicked Problem: The Energy Sector in the Era of Prosumer Capitalism. Energies. 2022.*
9. *URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Технологический_уклад*
10. *URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Четвертая_промышленная_революция*
11. *Яковец Ю.В. Циклы. Кризисы. Прогнозы. – М., 1999.*
12. *Капица С. П. Парадоксы роста: законы глобального развития человечества. – М., 2012.*
13. *Орехов В.Д. Прогнозирование развития человечества с учетом фактора знания: Монография. – Жуковский: МИМ ЛИНК, 2015.*
14. *Щедровицкий П.Г. Вверх и вниз по волнам промышленных революций // URL: https://shchedrovitskiy.com/app/uploads/vverh-i-vniz-po-volnam-promyshlennyh-revoljucij-1.pdf*
15. *Уильямс Дж. Лекция об истории энергетики // URL: https://energoworld.ru/blog/istoriya-energetiki/*
16. *Холкин Д.В. Интеллектуальная и гибкая система электроснабжения // Разбор британского доклад «Smart Systems and Flexibility Plan 2021».*
17. *Холкин Д.В. и др. Архитектура Интернета энергии (IDEA).*

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ПОЛИТИКА №5(196) / 2024

УДК 504.055 DOI 10.46920/2409-5516_2024_5196_40 EDN: XFUNBC

Оценка снижения выбросов парниковых газов при собственной генерации тепловой энергии ОАО «РЖД» до 2050 г. при постепенном отказе от мазута

Assessment of the reduction in greenhouse gas emissions from the generation of thermal energy by Russian Railways own sources on the horizon until 2050 with the gradual abandonment of the use of heating oil

Дмитрий РОЖИЦКИЙ
Доцент кафедры «Теплоэнергетика транспорта», Российский университет транспорта (РУТ (МИИТ), к. т. н., доцент
E-mail: rodim@yandex.ru

Юрий БАРДЫКИН
Руководитель проектов, АО «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта» (АО «ВНИИЖТ»), к. т. н.
E-mail: yunb1212@yandex.ru

Александр ЧЕПИЛЬ
Заместитель начальника отдела, Центральная дирекция по тепловодоснабжению – филиал ОАО «РЖД», магистр
E-mail: chepilav@cdtv-rzd.ru

Юрий ПАВЛОВ
Заведующий кафедрой теплоэнергетики и водоснабжения на транспорте, Российская открытая академия транспорта (РУТ (МИИТ), к. т. н., доцент
E-mail: yuripavlov2012@yandex.ru

Аннотация. Предложен алгоритм математического моделирования выполнения прогнозных расчетов для оценки величины выбросов парниковых газов на горизонте до 2050 г. при изменении структуры топливопотребления в стационарной энергетике ОАО «РЖД» за счет постепенного снижения доли топочного мазута в общем балансе топлива, применяемого собственными источниками, вплоть до полного отказа от использования жидкого топлива к 2035 г., с одновременным ростом потребления в качестве энергоресурса природного газа. Показан суммарный потенциал снижения выбросов парниковых газов при реализации данных мероприятий.
Ключевые слова: выбросы парниковых газов, генерация теплоты, прогноз потребления, котельно-печное топливо, удельный расход котельно-печного топлива.

Abstract. An algorithm for mathematical modeling of predictive calculations is proposed to estimate the amount of greenhouse gas emissions on the horizon up to 2050 with changes in the structure of fuel consumption in the stationary power industry of JSC Russian Railways due to a gradual decrease in the share of heating oil in the total balance of fuel supplied by its own sources, up to the complete abandonment of the use of liquid fuel by 2035, with simultaneous growth consumption of natural gas as an energy resource. The total potential of reducing greenhouse gas emissions during the implementation of these measures is shown.
Keywords: greenhouse gas emissions, heat generation, consumption forecast, boiler and furnace fuel, specific consumption of boiler and furnace fuel.

РЖД относится к организациям, потребляющим топливно-энергетические ресурсы для обеспечения как тяги поездов, так и стационарных объектов

В связи с возрастанием значимости вопросов защиты климата в международной и российской повестке, снижение выбросов парниковых газов и противодействие изменению климата выделены в Экологической стратегии ОАО «РЖД» (далее также – компания) как самостоятельное направление, которое является одним из приоритетов развития компании и неотъемлемой частью ее технической политики в сфере охраны окружающей среды [1].

Компания относится к организациям, потребляющим топливно-энергетические ресурсы (далее также – ТЭР) для обеспечения не только тяги поездов, но и стационарных объектов. Она относится к территориально-распределенным организациям, для которых характерна значительная рассредоточенность объектов по всей территории Российской Федерации [2]. Если снабжение электрической энергией более чем на 99% осуществляется централизованно от подразделений РАО «ЕЭС России» через собственную специализированную организацию («Трансэнерго»), то обеспечение теплотой происходит как за счет собственных производственно-отопительных котельных (на уровне 65% от потребности), так и от сторонних поставщиков, которые тоже локализованы в конкретном географическом месте. Последнее объясняется тем, что транспортировка теплоты рентабельна, как правило, на расстоянии от теплоисточника до потребителя не более чем на несколько километров.

ОАО «РЖД» обладает высоким потенциалом для реализации климатических проектов [2], в том числе за счет модернизации котельных с повышением их эффективности и замещением одного вида топлива на другой (например, с угля и нефтепродуктов на газ и биомассу), снижения потерь в электро- и теплосетях при

Грузоперевозки железными дорогами

Источник: TTstudio / depositphotos.com

транспортировке, повышения энергоэффективности зданий (применение новых высокоэффективных в части теплоизоляции материалов, установка солнечных коллекторов и т. д.), а также прочих проектов.

Все выбросы парниковых газов в зависимости от сферы охвата можно разделить на:

- прямые выбросы от собственных энергоисточников;
- косвенные выбросы, связанные с генерацией электроэнергии и теплоты, закупаемых со стороны;
- все другие косвенные выбросы, включая перевозку на транспортных средствах, не принадлежащих данному структурному подразделению и не контролируемых им, деятельность внешних подрядчиков, удаление отходов и т. д.

Прямые выбросы на стационарных энергообъектах обусловлены генерацией теплоты при сжигании котельно-печного топлива (далее также – КПТ). Выполним оценку потенциала снижения величины этих выбросов при условном сохранении потребности в данном энергоресурсе для объектов железнодорожного транспорта с учетом реализации сложившейся на сегодняшний день политики энергосбережения.

По состоянию на конец 2022 г. в ОАО «РЖД» генерация тепловой энергии производилась в 7 145 теплоисточниках, в том числе: угольных – 2 008 (1828 на каменном угле и 180 – на буром), на электростанциях – 4 023, потребляющих природный газ – 873, мазут – 133, дизельное топливо – 58, на прочих видах топлива – 50.

Таблица 1. Объемы потребления КПТ теплоисточниками структурных подразделений ОАО «РЖД» за 2022 г.

Вид ТЭР	Единица измерения	В натуральном исчислении	Тепловой эквивалент	В условном исчислении, т у. т.	Доля, %
Уголь	т	451 012	0,691	311 650	29,7
Газ природный	тыс. м^3	390 496	1,150	449 071	42,7
Мазут	т	203 397	1,370	278 654	26,6
Дизельное топливо	т	4 989	1,450	7 234	0,7
Прочие	т	5 508	0,510	2 809	0,3
Всего:	–	–	–	1 049 417	100

Порядковый номер года t_i	Год	Отпущено тепловой энергии Q_i, тыс. Гкал
1	2016	8 485
2	2017	7 875
3	2018	7 621
4	2019	7 001
5	2020	6 426
6	2021	6 331
7	2022	5 922

Таблица 2. Исходные данные по отпуску тепловой энергии

Статистическая отчетность в части расходования теплоты и топлива подразделениями железнодорожного транспорта (ТХО-3, ТХО-4, 4-топливо, ТВО-1 и ряд других), согласно [3], предусматривает применение внесистемных единиц измерения – Гкал (гигакалория) и т(кг) у. т. (тонна (килограмм) топлива в условном исчислении).

За 2022 г. в целом теплоисточниками структурных подразделений ОАО «РЖД» в целях генерации тепловой энергии было израсходовано 4 основных вида котельно-печного топлива (таблица 1).

В дальнейших расчетах объемами потребления дизельного топлива и прочих видов ТЭР в связи с их относительной незначимости пренебрегаем (1% от суммарного потребления). За вычетом указанных видов ТЭР общий объем потребления составит 1 039 375 т у. т. Теплоисточниками ОАО «РЖД» за 2022 г. было отпущено потребителям 5 980 120 Гкал тепловой энергии.

В связи с незначительностью доли отпуска теплоты от прочих видов топлива (пеллеты, СУГ) и дизельного топлива (суммарно 1%), и с учетом того, что в компании взят курс на полное замещение дизельного топлива другими видами энергоресурсов, в дальнейших расчетах тепловой энергией от этих видов КПТ пренебрегаем. Объем тепловой энергии за вычетом отпуска теплоты от ТЭР, имеющих незначительное применение в компании, составил 5 921 813 Гкал или, округляя, 5 922 000 Гкал. Данную величину будем использовать в дальнейших расчетах.

К одному из наиболее действенных способов экономии топлива (а значит, и снижения выбросов парниковых газов) относится замещение топочного мазута природным газом. Выполним оценку потенциала сокращения выбросов при изменении структуры топливопотребления в длительной перспективе (до 2050 г.). Очевидно, что поставленная задача является многокомпонентной и может быть разделена на несколько локальных подзадач, а именно:

1) прогнозирование потребности в тепловой энергии на заданный период;
2) прогнозирование изменения удельного расхода топлива (под действием энергосберегающих мероприятий) на тот же период;
3) планирование постепенного сокращения доли мазута, его замещения природным газом и учет влияния этого фактора на общий удельный расход топлива.

И только затем на основе полученных результатов можно оценить снижение величины выбросов парниковых газов на выбранном временно́м горизонте.

Прогноз потребности в тепловой энергии собственной генерации до 2050 г.

Статистические данные по отпуску тепловой энергии теплоисточниками по отчетности в компании за период 2016–2022 гг. приведены в таблице 2.

Тренд по отпуску тепловой энергии имеет нисходящий характер. Это объясня-

Потребление мазута сократится до нуля в ближайшее 10 лет, переход на газ продолжится, и к 2050 г. около 70% всей тепловой энергии планируется генерировать на газовых энергоустановках

ется целенаправленной технической политикой по сокращению непрофильных активов (выводом котельных в муниципальную собственность), переводом части мелких котельных на электроэнергию, а также планированием и реализацией мероприятий по экономии ТЭР.

Исходя из этих соображений, в качестве аппроксимирующей выбирается степенная функция вида:

$$Q = A \cdot t^{m}, \qquad (1)$$

где Q – отпущенная тепловая энергия, тыс. Гкал; t – порядковый номер года; A, m – коэффициенты, определяемые на основе обработки статистических материалов.

Линеаризация аппроксимирующей функции (1):

$$\ln Q = \ln A + m \cdot \ln t \qquad (2)$$

Выражение (2) представляет собой формулу прямой линии в логарифмических координатах.

После проведения логарифмирования для определения коэффициентов m и A применим метод наименьших квадратов с условием: график аппроксимирующей функции должен проходить через базовую точку с координатами (t_7, Q_7), т. к. данные последнего года выборки считаются наиболее достоверными.

После выполнения расчетов окончательно получаем:

$$Q = 8996 \cdot t^{-0{,}2149} \qquad (3)$$

Для удобства расчетов t заменяем на (τ – 2015), где τ – текущий год.

$$Q = 8996 \cdot (\tau - 2015)^{-0{,}2149} \qquad (4)$$

Для подтверждения правильности проведенной аппроксимации определим индекс детерминации:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}\left(Q_i - Q_i^{аппр}\right)^2}{\sum_{i=1}^{n}\left(Q_i - Q_{ср}\right)^2}, \qquad (5)$$

где $Q_{ср}$ – среднеарифметическое значение выборки; $Q_i^{аппр}$ – значение отпущенной тепловой энергии в i-м году, рассчитанное в соответствии с принятой функцией.

В данном случае индекс детерминации превысил значение 0,8, что свидетельствует о хорошей сходимости математической модели с фактическими данными [4].

Подстанция 110 кВ, РЖД

Источник: photolit.ru

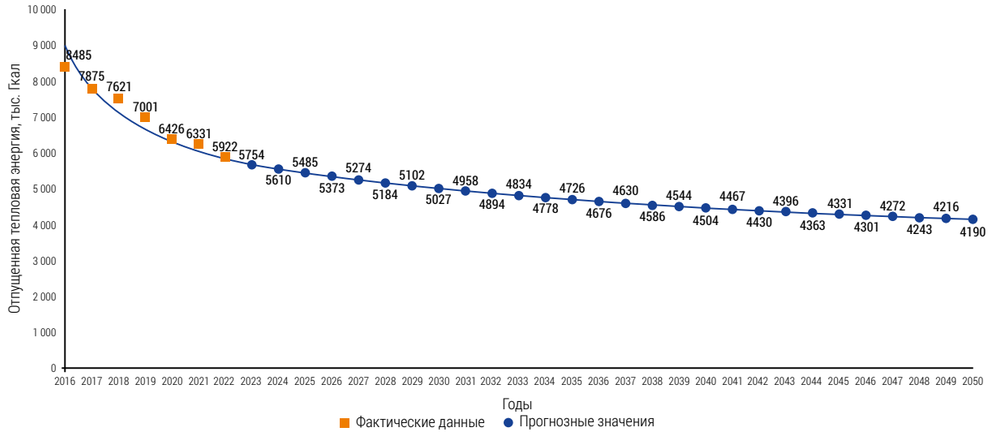


Рис. 1. Прогноз объемов отпуска тепловой энергии котельными ОАО «РЖД»

Полученный по результатам расчетов график позволяет спрогнозировать изменение отпуска тепловой энергии с учетом проводимой политики энергосбережения (рис. 1).

В перспективе потребление мазута и угля будет снижаться за счет более широкого использования природного газа. На основании планов развития систем теплоснабжения в компании потребление мазута сократится до нуля за ближайшее десятилетие, замещение газом других ТЭР продолжится, и к 2050 г. около 70% всей тепловой энергии планируется генерировать на газовых энергоустановках.

Принимая эти положения за исходные, на основе разработанной математической модели вначале выполним прогноз изменения удельного расхода топлива до 2050 г.

В 2050 г. общее количество тепловой энергии (4 190 тыс. Гкал, согласно вышеприведенным прогнозным расчетам) распределится следующим образом: 70% вырабатывается в установках, работающих на природном газе, и 30% – на угольном топливе, мазут при генерации теплоты к 2050 г. не используется; другими видами КПТ пренебрегаем.

Паспортные КПД (брутто) для теплоисточников на различных видах топлива принимаются следующие:

- при работе на природном газе $\eta_{бр}^{г}$ = 0,93;
- при работе на мазуте $\eta_{бр}^{м}$ = 0,9;
- при работе на угле $\eta_{бр}^{у}$ = 0,82.

Коэффициент собственных нужд (в среднем) принимается следующим [5]:

- при работе на природном газе $d_{сн}^{г}$ = 0,025;
- при работе на мазуте $d_{сн}^{м}$ = 0,07;
- при работе на угле $d_{сн}^{у}$ = 0,05.

КПД (нетто) определяется по формуле: $\eta_{нетто} = \eta_{бр} \cdot (1 - d_{сн})$.

- при работе на природном газе $\eta_{нетто}^{г}$ = 0,93 · (1 – 0,025) = 0,907;
- при работе на мазуте $\eta_{нетто}^{м}$ = 0,9 · (1 – 0,07) = 0,837;
- при работе на угле $\eta_{нетто}^{у}$ = 0,82 · (1 – 0,05) = 0,779.

Тогда удельный расход топлива на отпуск тепловой энергии:

- для природного газа

$$b_г = \frac{142{,}8}{\eta_{нетто}^{г}} = \frac{142{,}8}{0{,}907} = 157{,}44 \text{ кг у. т./Гкал};$$

- для мазута

$$b_м = \frac{142{,}8}{\eta_{нетто}^{м}} = \frac{142{,}8}{0{,}837} = 170{,}61 \text{ кг у. т./Гкал};$$

- для угля

$$b_у = \frac{142{,}8}{\eta_{нетто}^{у}} = \frac{142{,}8}{0{,}779} = 183{,}31 \text{ кг у. т./Гкал}.$$

Средневзвешенное значение минимального удельного расхода: $b = b_{г\,min} \cdot \delta_г + b_{у\,min} \cdot \delta_у$ = 157,44 · 0,7 + 183,31 · 0,3 = 165,20 кг у. т./Гкал. Полученная величина будет являться целевым значением для аппроксимирующей функции.

Формула линии тренда принимается в следующем виде:

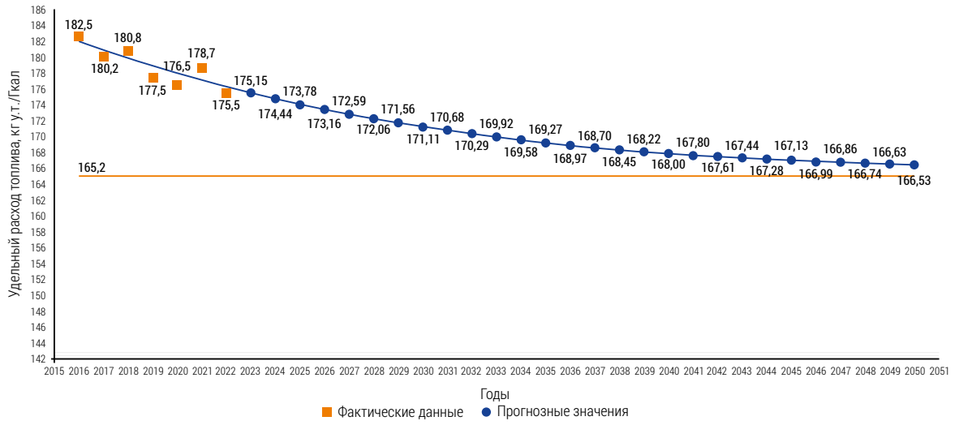


Рис. 2. Прогноз изменения величины удельного расхода топлива до 2050 г. при увеличении доли использования природного газа

$$b = A \cdot e^{at} + C, \qquad (6)$$

где b – удельный расход КПТ, кг у. т./Гкал; t – порядковый номер года; C – лимитирующее (минимальное) значение удельного расхода топлива, кг у. т./Гкал; A, a – коэффициенты, определяемые на основе обработки статистических материалов; e – основание натурального логарифма (2,71828…).

Подробная методика вычисления прогноза изменения величины удельного расхода топлива изложена в [6, 7]. После выполнения расчетов, аналогичных описанным при выполнении прогноза потребности в тепловой энергии, получим искомую функцию в виде:

$$b = 18{,}0803 \cdot e^{-0{,}0746 \cdot (т - 2015)} + 165{,}2 \qquad (7)$$

Расчеты показывают, что суммарный объем CO_2 до 2050 г. составит около 46 489 тыс. т при условии увеличения доли использования газа в общем балансе генерации тепловой энергии до 70%

График функции, приведеный на рис. 2, показывает нисходящий тренд величины удельного расхода топлива, приближающийся к своему минимальному значению, определенному выше (165,2 кг у. т./Гкал).

Примем, что полное замещение мазута природным газом завершится к 2035 г. Доля мазута в общем балансе генерации тепловой энергии в базовом году (2022) составляет 0,267; в 2035 г. – 0. Кроме того, предположим, что характер кривой, представленной на рис. 2, сохранится (степенная функция). С учетом принятых условий, производство теплоты мазутными источниками в период 2022–2035 гг. будет меняться по формуле:

$$Q_м = (-0{,}02054 \cdot т + 41{,}7958) \cdot 8996 \cdot (т - 2015)^{-0{,}2149} \qquad (8)$$

Тогда доля мазутной составляющей будет равна:

$$\delta_м = \frac{Q_м}{Q_{общ}} \qquad (9)$$

Следующим шагом будет определение долей использования различных видов топлива в изменившихся условиях (при постоянном сокращении доли мазута). Соотношение этих долей описывается системой уравнений:

$$\begin{cases} b_{общ} = b_г \cdot \delta_г + b_у \cdot \delta_у + b_м \cdot \delta_м, \\ \delta_г + \delta_у + \delta_м = 1 \end{cases} \qquad (10)$$

Решая эту систему, получим

Вид топлива	Тепловой эквивалент	Низшая теплота сгорания топлива NCV		Коэффициент выбросов EF, кг/ТДж
		ккал/кг (ккал/м³ для газа)	ТДж/т (ТДж/тыс. м³ для газа)	
Уголь	0,691*	4 837	0,02027	95 426**
Мазут топочный	1,370	9 590	0,04018	77 400
Газ природный	1,150	8 050	0,03373	54 400

* – по состоянию на 2022 г. (зависит от применяемых сортов углей);

** – значение получено как средневзвешенное по сортам углей, потребляемых в ОАО «РЖД».

Таблица 3. Низшая теплота сгорания и коэффициент выбросов CO_2 для различных видов топлива

$$\delta_г = \frac{b_у - b_у \cdot \delta_м + b_м \cdot \delta_м - b_{общ}}{b_у - b_г} \qquad (11)$$

$$\delta_у = 1 - \delta_м - \delta_г \qquad (12)$$

Величины $b_г$, $b_м$, $b_у$ для каждого года определяются по формулам, приведенным выше; $b_{общ}$ – по графику (рис. 2).

Зная доли $\delta_г$, $\delta_м$, $\delta_у$, можно предположить объем отпуска тепловой энергии от газовых, мазутных и угольных источников по годам (рис. 3).

Анализ графика на рис. 3 позволяет сделать следующие выводы. Доля использования угля будет меняться незначительно; природный газ сначала восполняет убыль мазута, его потребление возрастает, затем (приблизительно с 2035 г.) начинает превалировать эффект энергосберегающих мероприятий, приводящий к снижению расхода газа.

Следует заметить, что прогноз потребности в тепловой энергии, выполненный выше, остается в силе, т. к. потребность в энергии не зависит от вида используемого топлива. Выполнив предварительные расчеты, можно приступить к определению потенциала сокращения выбросов парниковых газов согласно [8].

При расчете этих величин оцениваются выбросы следующих газов, обладающих прямым парниковым эффектом: двуокиси углерода (CO_2), метана (CH_4), закиси азота (N_2O). Конечный результат для всех газов необходимо привести в пересчете на CO_2-экв.

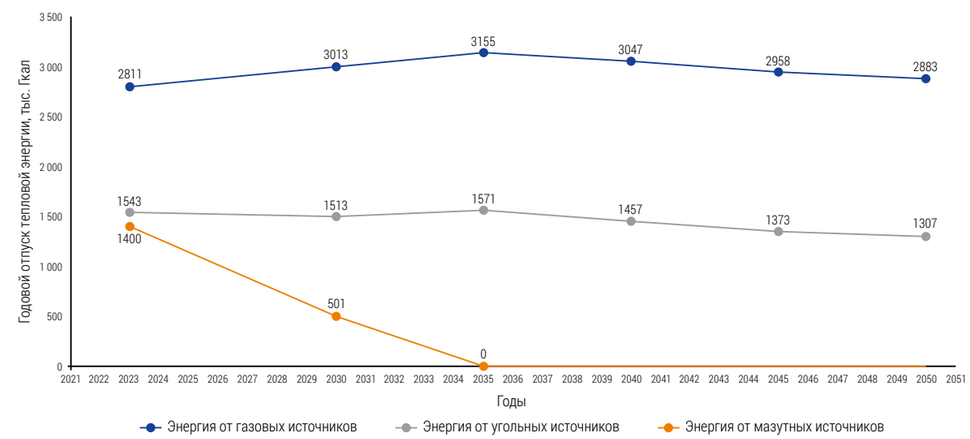
Расчет выбросов CO_2 для каждого вида топлива при сжигании его в энергетических установках производится по формуле:

$$E = FC \cdot EF \cdot GWP \cdot 10^{-3}, \qquad (13)$$

где E – годовой выброс CO_2-экв., т/год; FC – расход стационарно сжигаемого топлива в энергетическом эквиваленте, ТДж; EF – коэффициент выбросов парникового газа от стационарного сжигания топлива, кг/ТДж (по таблице 3); GWP – потенциал глобального потепления (принимается равным единице).

Перевод топлива в энергетические единицы осуществляется по формуле:

Рис. 3. Моделирование объемов отпуска тепловой энергии от различных источников в перспективе до 2050 г.



Сорт угля	Потребление, т	Коэффициент выбросов EF, кг/ТДж
Донецкий	9	92000
Кузнецкий	122 822	91900
Черемховский	47 881	94000
Хакасский	87 424	94400
Канско-Ачинский	197 814	98100
Райчихинский	21 152	94200
Читинский	34 876	98900
Всего	511 977	–

Таблица 4. Потребление угля в стационарной энергетике ОАО «РЖД» по месторождениям в 2022 г. (сортовой и рядовой суммарно)

$$FC = FC' \cdot NCV, \qquad (14)$$

где FC' – расход топлива в натуральном выражении, т (тыс. м^3 – для газа); NCV – низшая теплота сгорания топлива, ТДж/т (ТДж/тыс. м^3 – для газа), принимается по таблице 3.

Подставляя формулу (14) в (13), получим:

$$E = FC' \cdot NCV \cdot EF \cdot GWP \cdot 10^{-3}, \qquad (15)$$

Коэффициент выбросов парниковых газов для угля зависит от его сорта (таблица 4). Средневзвешенное значение коэффициента выбросов для угля $EF_У = 95426$. Во всех последующих расчетах 2022 г. принимаем за базовый (последний год с фактическими значениями потребления топлива).

По данным корпоративной отчетности, в 2022 г. структурными подразделениями компании было израсходовано на цели генерации тепловой энергии собственными источниками (в натуральном исчислении): угля – 451 012 т; мазута – 203 397 т; газа природного – 390 496 тыс. м^3.

По формуле (15) годовой выброс CO_2 составил (в базовом году):

- при сжигании угля — $E_У = 451\,012 \cdot 0{,}02027 \cdot 95426 \cdot 1 \cdot 10^{-3} = 872\,386$ т;
- при сжигании мазута — $E_М = 203\,397 \cdot 0{,}04018 \cdot 77400 \cdot 1 \cdot 10^{-3} = 632\,551$ т;
- при сжигании природного газа — $E_Г = 390\,496 \cdot 0{,}03373 \cdot 0{,}03373 \cdot 1 \cdot 10^{-3} = 716\,526$ т.

Суммарный выброс парниковых газов при эксплуатации энергетических объектов в 2022 г. составил: $E = E_У + E_М + E_Г = 872\,386 + 632\,551 + 716\,526 = 2\,221\,463$ т.

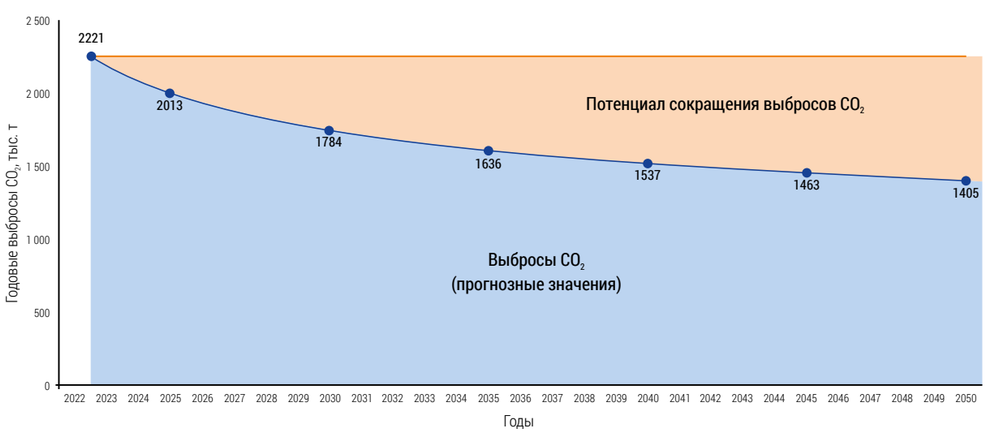
Расчеты выбросов по другим годам выполняются аналогично. Графическая интерпретация результатов расчетов показана на рис. 4.

Расчеты показывают, что суммарный объем парниковых газов (в пересчете на CO_2) до 2050 г. включительно составляет около 46 489 тыс. т, при условии изменения пропорций потребления котельно-печного топлива (увеличении доли использования природного газа в общем балансе генерации тепловой энергии до 70% и постепенном полном отказе от жидкого топлива).

Анализ графика на рис. 4 позволяет сделать вывод, что при сохранении существующих пропорций и без учета других мероприятий по экономии топлива выбросы парниковых газов за прогнозируемый период составили бы 62 188 тыс. т. (2 221 тыс. т × 28 лет). Таким образом, потенциал сокращения объема выбросов парниковых газов при условии расширения масштабов использования природного газа составляет: 62 188 – 46 489 = 15 699 тыс. т.

Предложенный подход демонстрирует возможность реализовывать прогнозные вычисления по изменению величин расходуемых ресурсов, что позволяет не только выполнять моделирование при долгосрочном планировании в потребности рассматриваемых ресурсов, но и давать оценку влияния различных факторов на характер и темп их изменения.

Рис. 4. Потенциал сокращения прямых выбросов парниковых газов до 2050 г. при изменении пропорций топливопотребления



Пассажирский поезд в Восточной Сибири

Источник: Serjio74b / depositphotos.com

Использованные источники

1. *Экологическая стратегия ОАО «РЖД» до 2030 г. и перспективу до 2035 г. (утв. протоколом заседания правления ОАО «РЖД» от 12.07.2022 г. № 44). URL: https://company.rzd.ru/ru/9353/page/105104?id=2008&ysclid=lte1yc31rs274556819 (дата обращения 05.04.2024).*
2. *Минаев Б. Н. Стационарная теплоэнергетика железных дорог / Б. Н. Минаев, А. В. Костин // Мир транспорта. №5 (43), 2012. С. 28–37.*
3. *Положение о единицах величин, допускаемых к применению в Российской Федерации (с изменениями на 15.08.2015 г., 09.03.2022 г.): Постановление Правительства России № 879 от 31 октября 2009 г. // Собрание законодательства Российской Федерации. 2009. № 45. ст. 5352. URL: https://base.garant.ru/196573/дата обращения 05.04.2024).*
4. *Тихомиров Н. П. Эконометрика // Н. П. Тихомиров, Е. Ю. Дорохина / М.: Изд-во «Экзамен», 2003. – 512 с.*
5. *Рожицкий Д. Б. Справочно-методическое пособие по нормированию топливно-энергетических и водных ресурсов для обеспечения инфраструктуры подразделений железнодорожного транспорта /Д. Б. Рожицкий, Ю. Н. Бардыкин, А.А. Рыбак // Вологда, 2023. – 472 с.*
6. *Рожицкий Д. Б. Нетяговая энергетика железнодорожного транспорта. Нормирование потребления топливно-энергетических и водных ресурсов // – Москва: РАС, 2022. – 324 с.*
7. *Rozhitskiy D., Bardykin Yu., Pavlov Yu., Repin A. Forecasting of the efficiency indicators of the use of boiler and furnace fuel in the non-traction power engineering of railway transport based on the model of temporaryth row // Journal of Physics: Conference Series. «Intelligent Information Technology and Mathematical Modeling 2021, IITMM 2021- Mathematical Modeling in the Socio-Economic and Informational Spheres» 2021. P. 042077.*
8. *Комплексная методика количественного определения объемов выбросов парниковых газов ОАО «РЖД». Утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 24.04.2023 г. № 726/р.*

УДК: 550.8.012, 622.276 DOI 10.46920/2409-5516_2024_5196_50 EDN: ZZXZLY

Перспективы применения генеративного искусственного интеллекта в нефтегазовой отрасли

Prospects for the application of generative artificial intelligence in the petroleum industry

Айрат АРИФУЛЛИН
Аналитик, «ВЫГОН Консалтинг»
E-mail: aarifullin@vygon.consulting

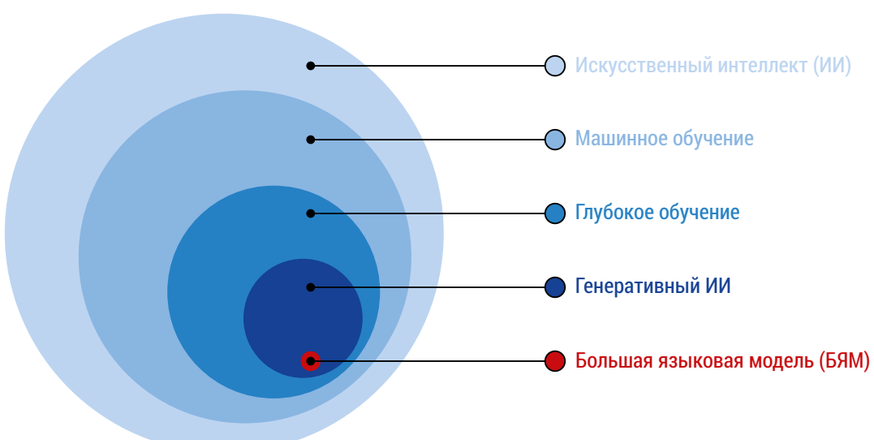
Всеволод МАРКИН
Аналитик, «ВЫГОН Консалтинг»
E-mail: vmarkin@vygon.consulting

Airat ARIFULLIN
Analyst, VYGON Consulting
E-mail: aarifullin@vygon.consulting

Vsevolod MARKIN
Analyst, VYGON Consulting
E-mail: vmarkin@vygon.consulting

Рис. 1. Определение генеративного ИИ как подкласса искусственного интеллекта с глубоким машинным обучением [3]

Источник: «ВЫГОН Консалтинг»



Аннотация. В статье рассматриваются возможности генеративного искусственного интеллекта, в частности, больших языковых моделей (БЯМ), в нефтегазовой отрасли. Анализируются текущие глобальные тенденции развития и потенциал технологий GenAI для автоматизации производственных задач. Авторы также подробно оценивают направления применения генеративного ИИ в каждом сегменте нефтегазового комплекса (поиск и разведка УВС, добыча, транспортировка и переработка углеводородов), приводя примеры как реализованных, так и перспективных решений. Отдельное внимание уделяется проблемам применения существующих БЯМ для решения отраслевых задач и предлагаются способы их оптимизации для погружения в нефтегазовую специфику.
Ключевые слова: нефтегазовая отрасль, генеративный искусственный интеллект, большие языковые модели (БЯМ), нефтегазовая геология, добыча УВ, транспортировка УВ, переработка УВ.

Abstract. The article deals with the possibilities of generative artificial intelligence, in particular large language models (LLM), in the petroleum industry. Current global development trends and the potential of GenAI technologies to automate production tasks have been analyzed. The authors also evaluate in detail the directions of application of generative AI in each segment of the petroleum industry (prospecting and exploration, production, transportation and refining of hydrocarbons), providing examples of both realized and promising solutions. Special attention has been paid to the problems of using existing LLMs to solve industry-specific problems and ways to optimize them for immersion in oil and gas specifics have been proposed.
Keywords: oil and gas industry, generative artificial intelligence, large language models (LLMs), oil and gas geology, HC production, HC transportation, HC refining.

Ежегодно в мире публикуется более 25 ТБ данных в сфере НИОКР по нефтегазовой тематике, включая базы данных по новым патентам и разработкам

Глобальные тренды развития больших языковых моделей

Генеративный искусственный интеллект (GenAI) – тип искусственного интеллекта, модели которого могут создавать новый контент (модальность), такой как текст, изображения, музыка, видео, код, синтетические данные и многое другое, на основе вводимых данных и запросов (рис. 1) [1, 2, 3]. Одной из основных отличительных особенностей этого вида ИИ является объем информации, который необходим для его обучения: триллион гигабайтов мультимодальных данных, которые в большинстве случаев находятся в неструктурированном виде. Наибольшее внимание в данной статье будет уделено частному случаю генеративного ИИ – большой языковой модели (БЯМ).

Большие языковые модели – это нейронные сети, специализирующиеся на задачах обработки естественного языка и обладающие способностью генерировать текст и изображения на основе входных данных (рис. 1) [3]. Для обучения БЯМ используются большие дата-сеты, или другими словами – набор данных, размер которых в мега-моделях достигает 10–30 трлн токенов. Лидерами мировой ИИ-индустрии выступают западные компании OpenAI, Google, Anthropic, Mistral, Meta (признана экстремистской и запрещена в РФ), разработавшие такие топовые модели, как ChatGPT, Gemini, Claude 3, Mistral, LLaMa. Однако перечисленный список топовых генеративных моделей далеко неисчерпывающий: ежемесячно в мире появляются порядка 8–10 новых

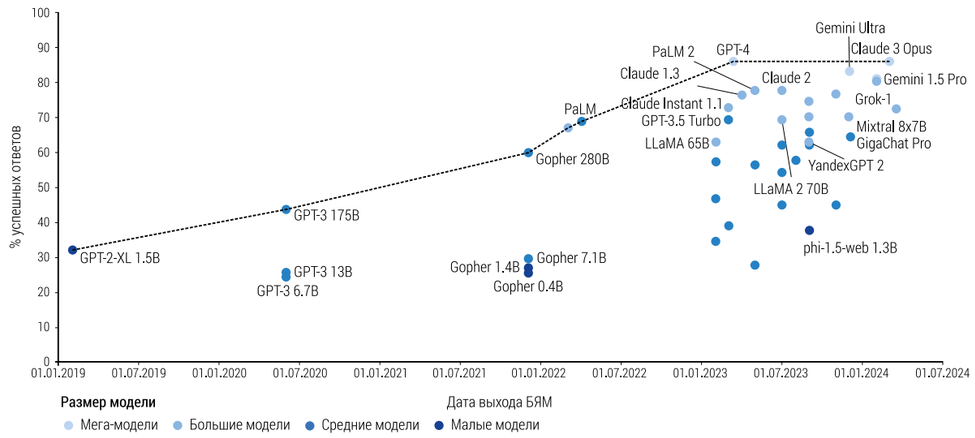


Рис. 2. Сравнение БЯМ по MMLU [3]

Источник: «ВЫГОН Консалтинг»

вариантов больших языковых моделей, качество каждой из которых может значительно превосходить предыдущие. Стоит также отметить и тот факт, что создание нейросети «с нуля» – это не единственный способ разработать новую вариацию: существует множество бесплатных дата-сетов различного наполнения, позволяющих сконструировать модель под собственные потребности на базе существующих БЯМ.

Для оценки качества БЯМ разработано большое число бенчмарков на базе экзаменационных вопросов для школьников, студентов и аспирантов по естественным наукам (химия, биология), математике, программированию и др. Интеллектуальные способности генеративных моделей с каждым годом растут. Процент правильных ответов БЯМ на запросы пользователей по бенчмарку MMLU (Massive Multitask Language Understanding – сборник экзаменационных вопросов по различным областям знаний, разработанный специально для тестирования нейросетей ведущими университетами США) вырос более чем в 2,5 раза. Это происходит за счет повышения качества и объема обучающих дата-сетов.

Тенденция роста интеллектуальных способностей генеративного ИИ требует привлечения всё бóльшего количества вычислительных мощностей – графических процессоров (GPU – graphics processing unit) (рис. 2). Так, для создания мега-моделей (свыше 1 трлн параметров) необходимо использовать более 25 тыс. GPU нового поколения H100. Цена одной такой карты достигает 30 тыс. долл. В 2023 г. ведущие разработчики GenAI разместили рекордные заказы на H100, что обещает появление новых моделей с супервозможностями.

Потенциал БЯМ огромен: если сегодня модели способны на краткое изложение текста и ответы на простые вопросы, то уже завтра они смогут автоматизировать типовые интеллектуальные операции, а послезавтра – использоваться в качестве автономных роботов. Наиболее продвинутый тип генеративного ИИ – это мультиагентные системы (МАС), в рамках которых могут применяться различные модели. Каждая из них будет решать свой ограниченный круг задач, иметь экспертизу и доступ к внешним инструментам, в т. ч. к специализированному ПО. Ожидается, что в перспективе именно МАС будут способны выполнять сложный функционал, требующий многоступенчатых логических рассуждений.

Перспективы генеративного ИИ в нефтегазовой отрасли: общие задачи

Российские нефтегазовые компании уже более 10 лет используют классический искусственный интеллект для работы с большими структурированными данными на всех этапах жизненного цикла производства углеводородного сырья – от моделирования геологоразведки и диагностики состояния трубопроводов до разработки многокомпонентных рецептур моторных масел (например, система «Алхимик» компании «Газпром нефть») [4].

Однако, несмотря на широкое использование классического ИИ, интерес российской нефтегазовой отрасли к генеративным моделям пока только пробуждается: единственным известным случаем попытки применения GenAI является система «Акела», разработанная компанией «Татнефть» совместно с национальным исследовательским университетом ИТМО [5]. Других примеров применения генеративных моделей в отечественном ТЭК на момент подготовки данной статьи в открытых источниках найти не удалось. По нашей информации, ряд компаний инициировали пилотные проекты.

В условиях санкций, пересмотра экспортной стратегии и энергоперехода ключевой задачей каждой компании нефтегазового сектора становится поиск инновационных технологий с последующей оценкой их эффективности и внедрением в операционный цикл. Генеративный ИИ, включая большие языковые модели, может стать основным инструментом для ответа на эти вызовы [3].

ИИ генеративных моделей представляет собой перспективную технологию, способную решать широкий спектр задач в различных областях. Рассмотрим несколько классов задач, которые может выполнять GenAI (рис. 3).

Генеративный ИИ может значительно облегчить работу аналитиков и инженеров.

Одной из областей для применения технологий GenAI является геология, где точность и скорость обработки данных могут значительно повысить эффективность поисков, разведки и оценки УВС

Ежегодно в мире публикуется более 25 ТБ данных в сфере научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР) по нефтегазовой тематике, включая базы данных по новым патентам, материалы аналитических агентств, правительственных организаций, научных и отраслевых изданий, а также деловых СМИ. Чтобы оставаться в курсе последних событий и тенденций, аналитики вынуждены тратить более 80% рабочего времени на изучение быстро меняющегося отраслевого информационного поля. Этот процесс сейчас является трудоемким и в значительной степени ручным.

Применение БЯМ в качестве «интеллектуального ассистента» может существенно сократить время, затрачиваемое на выполнение таких задач, как распознавание текстовых документов, поиск в базе знаний, обобщение документов и построение ключевых выводов. Так, например, GenAI сможет повысить автоматизацию функциональных процессов, связанных с инженери-

Рис. 3. Категории Use Cases БЯМ [3]

Источник: «ВЫГОН Консалтинг»

ей и научно-технической экспертизой. Речь прежде всего идет о прикладной экспертизе, 59% которой может быть автоматизировано. В целом потенциал автоматизации работы профессиональных групп, связанных с инженерией, при использовании нейросетей вырастет почти в 2 раза – до 57% [3].

К классу более сложных интеллектуальных задач, которые могут быть решены с помощью БЯМ, относятся подбор технологий и анализ существующих трендов, оценка состояния производственного объекта или процесса, генерация рекомендаций по предотвращению поломок оборудования, а также прикладная экспертиза для проведения ремонтов. Ключевая ценность от использования GenAI в решении таких задач заключается в повышении эффективности работы инженерного и полевого персонала за счет сокращения времени между выявлением проблемы и подготовки рекомендаций по улучшению процесса [3].

И наконец, еще более сложные многоуровневые инженерные задачи – проектирование процессов, оборудования и инфраструктуры, а также создание (инжиниринг) новых продуктов и технологий – могут быть решены с помощью ранее упомянутых мультиагентных систем [3]. Возможная схема использования МАС приведена на рис. 4.

GenAI в нефтегазовой геологии

Одной из перспективных областей для применения технологий GenAI является нефтегазовая геология, где точность и скорость обработки баз данных могут значительно повысить эффективность поисков, разведки и оценки УВС. На основе описанных выше общеотраслевых задач можно выделить 3 ключевых инструмента генеративного ИИ для нефтегазовой геологии: интеллектуальный ассистент геолога, генератор недостающей геологической информации и мультиагентная система для геологического моделирования.

Огромный объем геологических знаний, накопленный в научной литературе, производственных отчетах, пояснительных записках к геологическим картам, зачастую остается разрозненным и трудным для быстрого доступа и анализа. Обучение моделей GenAI на больших массивах текстовых геологических документов позволит создать интеллектуального ассистента геолога. Такая система сможет предоставлять по запросу как общую теоретическую информацию (определения терминов, описание процессов и т. п.), так и давать сводки по геологическому строению конкретных регионов и стратиграфических подразделений. База знаний ассистента может динамически пополняться и обновляться

Рис. 4. Возможная схема использования мультиагентных систем в генеративных моделях для оптимизации системы разработки месторождения [3]

Источник: «ВЫГОН Консалтинг»

по мере поступления новых публикаций. Геологи смогут в диалоговом режиме оперативно получать нужные сведения, ссылки на первоисточники, иллюстративные материалы. Это ускорит процесс принятия решений, подготовки документации, снизит риски упущения важной информации.

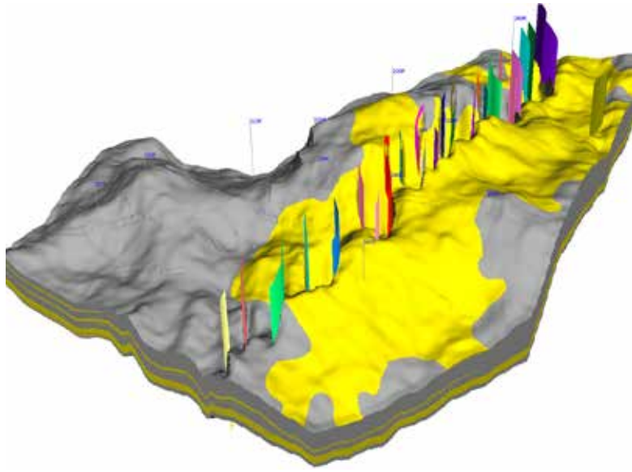
Данный инструмент является наименее сложным среди выбранных, уже сегодня в мире существуют качественные кейсы подобных языковых геологических моделей. В качестве примеров можно привести китайскую БЯМ GeoGalactica (крупнейшая геологическая БЯМ, обученная на 65 миллиардах токенов специализированного текстового корпуса и 30 млрд параметров), а также индустриальную БЯМ Aramco Metabrain AI (созданная компанией Saudi Aramco модель, обученная на 7 трлн токенов и 200 млрд параметров). Для отечественной геологии необходимо создать собственную языковую модель, которая позволит учесть обширные и специфические знания о геологическом строении регионов РФ [6, 7].

Геологоразведочные проекты часто сталкиваются с проблемой неполноты и фрагментарности исходных данных. Бывает, что сейсмическая съемка неравномерно покрывает территорию исследования, в скважинах отсутствуют некоторые каротажные кривые или целые интервалы, керновый материал получен не в полном интересующем геологов объеме. GenAI-модели могут восполнить подобные пробелы за счет генерации синтетических данных. Так, алгоритмы могут достраивать 3D-сейсмокубы по 2D-профилям, прогнозировать значения каротажных кривых в пропущенных интервалах на основе комплекса имеющихся измерений, генерировать высокодетальные цифровые модели керна по ограниченному описанию образцов или отдельным фотографиям шлифов. Получаемые синтетические данные должны быть согласованы с реальными измерениями и отражать естественную изменчивость геологической среды.

Генератор геологической информации по сравнению с интеллектуальным ассистентом геолога значительно более ресурсоемкий инструмент для создания и внедрения в реальный нефтегазовый бизнес. Однако уже сегодня разрабатываются подходы к генерации геологических данных. Например, один из участников отечественного рынка сейсмического моделирования – компания «ГридПоинт Дайнамикс» – активно внедряет технологии генеративного ИИ в свои продукты. Компания «РН-БашНИПИнефть» работает над решениями в области генерации цифрового 3D-керна из данных растровой электронной микроскопии (РЭМ). Российская компания Polar eQuelle совместно с РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина в рамках разработки ПО LithologAI используют фотографии шлифов горных пород для исследования керна.

Другим перспективным направлением применения GenAI является создание МАС для геологического моделирования. В контексте геологического моделирования такие системы могут описывать различные геологические процессы и объекты: осадконакопление, тектонические движения, миграция флюидов, формирование ловушек и залежей углеводородов. Каждый агент обладает своим набором правил поведения и параметров, которые определяют его взаимодействие с другими агентами и средой. Важным преимуществом мультиагентных систем является их способность учитывать неопределенности и множественные сценарии развития геологических процессов.

Обучая МАС на большом объеме геологических данных (сейсмические данные, данные бурения, каротажа, керна и т. д.), можно создавать реалистичные модели



Цифровая геологическая 3D-модель Geoplat Pro-G
Источник: eft-soft.ru

формирования и эволюции осадочных бассейнов, прогнозировать зоны развития коллекторов и покрышек, моделировать процессы генерации, миграции и аккумуляции углеводородов.

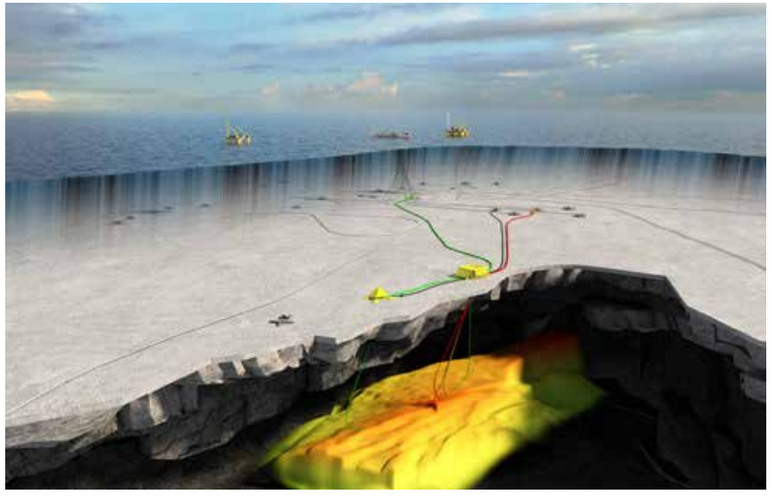
GenAI в добыче УВС

В процессе добычи углеводородов ключевым аспектом является обеспечение надежности и бесперебойной работы оборудования. Генеративный ИИ способен сыграть значительную роль в его предиктивном техническом обслуживании, что позволяет не только предотвращать непредвиденные поломки, но и снижать эксплуатационные расходы. Системы предиктивного обслуживания, оснащенные БЯМ, анализируют данные с датчиков в реальном времени и используют алгоритмы машинного обучения для предсказания потенциальных неисправностей и оптимизации графиков технического обслуживания.

Такие прогнозы и рекомендации позволяют перейти от планово-предупредительного ремонта к предиктивному обслуживанию, при котором ремонтные работы проводятся не по фиксированному расписанию, а на основе фактического состояния оборудования. Это помогает снизить риски незапланированных простоев, продлить срок службы оборудования и оптимизировать затраты на техническое обслуживание.

Стоит отметить, что подобные системы предиктивного технического обслуживания на основе БЯМ уже применяются в различных промышленных отраслях за рубежом. Ведущие компании-вендоры (C3.ai, Dataiku, SparkCognition и др.) предлагают готовые решения, в т. ч. для нефтегазовой отрасли [8, 9]. Они включают в себя платформы для сбора и анализа промышленных данных, модули машинного обучения и БЯМ для генерации прогнозов и рекомендаций.

Крупные нефтегазовые компании активно внедряют эти технологии в свои операции. К примеру, Shell использует платформу предиктивного обслуживания от C3.ai для мониторинга состояния критически важного оборудования на своих добывающих платформах. Анализируя данные в реальном времени, система способна заблаговременно выявлять потенциальные проблемы и генерировать рекомендации по обслуживанию, что позволяет



Цифровая модель норвежского месторождения Trestakk
Источник: equinor.fotoware.cloud

Shell повысить надежность оборудования, сократить незапланированные простои и оптимизировать затраты на техническое обслуживание.

GenAI в транспортировке углеводородов

Транспортировка УВС является критически важным звеном между добывающими активами и перерабатывающими мощностями. Оптимизация работы трубопроводных систем, а также обеспечение их безопасности и надежности – ключевые задачи сектора midstream. Генеративный ИИ может выступать в качестве рекомендательной системы для принятия решений в области транспортировки углеводородов. Обучаясь на огромных массивах исторических данных и учитывая множество факторов, таких как состояние инфраструктуры, погодные условия, геополитические риски и рыночные тренды, БЯМ способны предлагать оптимальные сценарии транспортировки. Эти рекомендации могут включать выбор наиболее эффективных маршрутов, определение приоритетности отгрузок, планирование профилактического обслуживания и принятие превентивных мер для снижения рисков аварий и простоев. Использование нейросетей в качестве рекомендательной системы позволяет инженерам, принимающим решения, получать своевременные и обоснованные рекомендации, основанные на комплексном анализе данных, что повышает качество управленческих решений и способствует оптимизации операционной деятельности.

Учитывая обширность и сложность трубопроводных сетей, а также удаленность многих их участков, использование БЯМ как рекомендательной системы становится не только технологически продвинутым, но и экономически выгодным решением. Это повышает общую безопасность и надежность процессов транспортировки углеводородов, обеспечивая более эффективное управление инфраструктурой.

GenAI в переработке УВС

Использование генеративных моделей открывает большие возможности и для разработки новых рецептур нефтепродуктов, что позволяет повысить конкурентоспособность перерабатывающих предприятий России на мировом рынке. Потенциал подобных технологий можно оценить, рассмотрев пример созданной в Китае мультимодальной модели GIT-Mol для молекулярных наук [10].

Разработанная китайскими учеными система интегрирует графические и текстовые данные в единую систему, что позволяет с высокой точностью генерировать новые молекулы и предсказывать их свойства. Эта модель не только позволила

Цифровая 3D-модель НПЗ
Источник: free3d.com

Использование генеративных моделей открывает новые возможности и для разработки новых рецептур нефтепродуктов, что позволяет повысить конкурентоспособность перерабатывающих предприятий

улучшить точность предсказаний на 10%, но и повысить достоверность генерации на 20,2% по сравнению с базовыми показателями. Такие возможности могут быть адаптированы и для нефте- и газохимической индустрий [10].

В контексте создания новых рецептур продуктов переработки нефти и газа подобный подход может включать анализ сложных химических структур и процессов, что требуется для оптимизации, например, составов топлив, полимеров и пластиков. Использование генеративных моделей позволяет быстро анализировать большие объемы данных о свойствах сырья и продуктов, симулировать и моделировать химические процессы и взаимодействия на молекулярном уровне, а также предсказывать результаты изменений в рецептурах.

Кроме того, БЯМ могут применяться для прогнозирования спроса на различные продукты переработки. Анализ исторических данных о потреблении и учет макроэкономических факторов, таких как динамика ВВП, уровень промышленного производства и цены на энергоносители, проводятся с помощью классических моделей ИИ. На основе этого анализа БЯМ генерируют точные прогнозы спроса на краткосрочную и среднесрочную перспективы. Используя эти прогнозы, нейросеть может подготовить рекомендации по оптимизации производственных планов нефте- и газоперерабатывающих заводов, управлению запасами и своевременному реагированию на изменения рыночной конъюнктуры. Применение сгенерированных БЯМ рекомендаций позволяет повысить маржинальность и снизить риски перепроизводства или дефицита отдельных видов продуктов.

Цифровой двойник предприятия

Источник: smis-expert.com

Проблемы использования существующих БЯМ для поиска и анализа отраслевой информации

Лучшие на апрель 2024 г. современные генеративные языковые модели (GPT-4, Claude 3 и Gemini 1) предлагают значительные возможности для автоматизации аналитических задач. Однако, в условиях специализированных отраслей, таких как нефтегазовая промышленность, возникают вопросы их профессиональной компетентности и безопасности применения. В исследовании «ВЫГОН Консалтинг» анализируются результаты тестирования этих моделей. В качестве предмета для тестирования был использован запрос российской нефтегазовой компании на подбор технологии бурения в неустойчивых аргиллитах, опубликованный на открытой онлайн-платформе для организации работы бизнеса с квалифицированными внештатными специалистами «Профессионалы 4.0». При тестировании основной акцент был сделан на анализе возможностей БЯМ обрабатывать специфическую отраслевую информацию без предварительного специализированного обучения [3].

Результаты показали, что существующие коммерческие БЯМ не обладают необходимым уровнем специализации и точности для выполнения сложных отраслевых задач. Большинство моделей сталкиваются с проблемами «заморозки» данных в обучающем корпусе и недостатком страновой специфики, что приводит к выдаче некорректных или «сгаллюцинированных» (выдуманных) ответов. По состоянию на апрель 2024 г. коммерческие БЯМ существенно уступают человеку в сложных отраслевых знаниях, предоставляя верные ответы только на те вопросы, которые требуют минимальных умственных усилий.

Для погружения готовых БЯМ в отраслевую тематику в рамках исследования «ВЫГОН Консалтинг» был проведен эксперимент с использованием метода RAG (Retrieval-Augmented Generation – генерация ответа на основе извлеченных актуальных данных) [3]. Для проведения эксперимента была создана специализированная база данных, содержащая актуальные отраслевые материалы. Эта база использовалась для поддержки БЯМ в процессе ответа на сложные запросы.

Использование RAG значительно улучшило качество ответов на запросы, связанные с анализом технологий бурения в неустойчивых аргиллитах. Модель смогла точно определить и назвать конкретные технологии и методы, что было невозможно при использовании традиционных БЯМ без доступа к актуализированной информации. Количество ошибок и «галлюцинаций» значительно сократилось. По результатам эксперимента был сделан вывод о том, что БЯМ, усовершенствованную с помощью RAG, можно использовать в роли «интеллектуального ассистента» для решения конкретных отраслевых задач.

Помимо отсутствия отраслевых знаний со страновой спецификой тестирование показало другие недостатки существующих генеративных моделей. В частности, коммерческие иностранные БЯМ строго соблюдают введенный Западом санкционный режим и ограничивают доступ к любой информации, которая может быть использована для отраслевого развития, импортозамещения и обеспечения технологического суверенитета России. Кроме того, использование иностранных БЯМ с открытыми параметрами потенциально может создать угрозу IT-безопасности (внешние атаки на информационную инфраструктуру, промышленный шпионаж и т. д.) [3].

Единая технологическая платформа для создания отечественных отраслевых БЯМ

Один из ключевых факторов, влияющих на стоимость создания нефтегазовой БЯМ – это выбор подхода, предполагающий ответ на вопрос: будет ли использована существующая модель или создана принципиально новая? Обучение «с нуля» отечественной БЯМ с широкой отраслевой экспертизой может потребовать до 100 млрд руб., не включая расходы на разработку и исследования (R&D-инженеров). Ни одна отечественная нефтегазовая компания не готова взять на себя такие затраты. Стоимость донастройки на отраслевых данных (fine-tuning) существующих российских БЯМ (GigaChat «Сбера» и YandexGPT) для получения модели, способной хорошо ориентироваться в узкой отраслевой области, например, в нефтегазовой геологии, может достигать 100 млн руб. В этом случае затраты отраслевых заказчиков будут дублироваться, т. к. решаемые в нефтегазовых предприятиях инженерные проблемы, в которых может использоваться генеративный ИИ, практически совпадают.

Поэтому наиболее эффективным подходом к развитию генеративного ИИ в российском ТЭК является консолидация усилий всех заинтересованных сторон – IT-разработчиков, нефтегазовых компаний, экспертных и научных организаций, профильных ФОИВ (Минэнерго и Минпромторг) – для создания единой технологической платформы. Она позволит сократить расходы на разработку отраслевой прикладной модели, обеспечить оперативный обмен информацией и ускорить выполнение главной задачи, стоящей сейчас перед нашей страной – обеспечения технологического суверенитета и конкурентоспособности России на мировых рынках энергоносителей.

Использованные источники

1. *Исследование «Искусственный интеллект в России – 2023: тренды и перспективы» // Яков и Партнёры, 2023. – URL: https://yakov.partners/publications/ai-future/*
2. *Генеративный искусственный интеллект [Электронный ресурс]: Википедия. Свободная энциклопедия. – URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Generative_artificial_intelligence (дата обращения: 10.04.2024).*
3. *Исследование «Возможности использования генеративного ИИ для обеспечения технологического суверенитета российского ТЭК» // «ВЫГОН Консалтинг». 2024.– URL: https://vygon.consulting/tpost/uxssc1e3h1-vozmozhnosti-ispolzovaniya-generativnogo*
4. *"Газпром нефть" научила искусственный интеллект создавать рецептуры моторных масел // ТАСС: [Электронный ресурс]. 2023. – URL: https://tass.ru/ekonomika/17840657 (дата обращения: 11.04.2024).*
5. *"Татнефть" и Университет ИТМО представили цифрового эксперта на основе генеративного ИИ // Пресс-центр ПАО "Татнефть": [Электронный ресурс]. 2023. – URL: https://www.tatneft.ru/news/5135 (дата обращения: 11.04.2024).*
6. *GeoGalactica: A Scientific Large Language Model in Geoscience / Zhouhan Lin, Cheng Deng, Le Zhou, Tianhang Zhang // arXiv.org: [Электронный ресурс]. 2023. – URL: https://arxiv.org/abs/2401.00434 (дата обращения: 11.04.2024).*
7. *Saudi Aramco unveils industry's first generative AI model // Offshore Technology: [Электронный ресурс]. 2024. – URL: https://www.offshore-technology.com/news/saudi-aramco-unveils-industry-first-generative-ai-model/ (дата обращения: 13.04.2024).*
8. *C3 Generative AI: Generative AI for Oil & Gas // C3.ai : [Электронный ресурс]. 2023. – URL: https://www.c3.ai/solutions/generative-ai-for-oil-gas (дата обращения: 15.04.2024).*
9. *SparkCognition Generative AI Suite // SparkCognition: [Электронный ресурс]. 2023. – URL: https://www.sparkcognition.com/products/sparkcognition-generative-ai-suite/ (дата обращения: 15.04.2024).*
10. *GIT-Mol: A Multi-modal Large Language Model for Molecular Science with Graph, Image, and Text / Pengfei Liu, Yiming Ren, Jun Tao, Zhixiang Ren // arXiv.org: [Электронный ресурс]. 2024. – URL: https://arxiv.org/abs/2308.06911 (дата обращения: 15.04.2024).*

УДК 622.692.4.053 DOI 10.46920/2409-5516_2024_5196_60 EDN: NYKFHG

Повышение эффективности эксплуатации магистральных трубопроводов в рамках проведения высокотехнологичных научных исследований

Increasing the efficiency of operation of main pipelines as part of high-tech scientific research

Алексей КОРШАК
Ведущий научный сотрудник управления математического моделирования и технологий трубопроводного транспорта НТЦ ООО «НИИ Транснефть», д. т. н., профессор

Тимур БЕЗЫМЯННИКОВ
Директор НТЦ ООО «НИИ Транснефть», к. т. н.

Владимир ПШЕНИН
Зам. зав. кафедрой транспорта и хранения нефти и газа, доцент, к. т. н.
E-mail: Pshenin_VV@pers.spmi.ru

Марат ЯМИЛЕВ
Начальник управления математического моделирования и технологий трубопроводного транспорта НТЦ «ООО «НИИ Транснефть», к. т. н.
E-mail: YamilevMZ@niitnn.transneft.ru

Alexey KORSHAK
Leading researcher at the Department of Mathematical Modeling and Pipeline Transport Technologies of the Scientific and Technical Center of Transneft Research Institute LLC, Doctor of Technical Sciences, Professor

Timur BEZYMYANNIKOV
Director of the Scientific and Technical Center of Transneft Research Institute LLC, Ph.D.

Vladimir PSHENIN
Deputy head Department of Transport and Storage of Oil and Gas, Associate Professor, Ph.D.
E-mail: Pshenin_VV@pers.spmi.ru

Marat YAMILEV
Head of the Department of Mathematical Modeling and Pipeline Transport Technologies of the Scientific and Technical Center "Transneft Research Institute LLC", Ph.D.
E-mail: YamilevMZ@niitnn.transneft.ru

Аннотация. В статье раскрываются задачи, стоящие перед оператором магистральных нефтепроводов, в области проведения научно-исследовательских работ. Одним из наиболее острых и важных вопросов является повышение эффективности эксплуатации нефтепроводов с присутствующими в них осложнениями: скоплениями воды, газа и отложениями. Работа раскрывает принципы проведения исследований в области гидромеханики трубопроводных потоков в присутствии таких осложнений. Работа авторов представляет важность не только для строительства магистральных трубопроводов, но и для нефтедобывающей отрасли в целом.
Ключевые слова: магистральные нефтепроводы, строительство и эксплуатация нефтепроводов, скопление воды, научно-практические исследования, вычислительная гидродинамика.

Abstract. The article reveals the challenges facing the operator of main oil pipelines in the field of scientific research. One of the most pressing and important issues is increasing the efficiency of operation of oil pipelines with the complications present in them: accumulations of water, gas and sediments. The work reveals the principles of conducting research in the field of hydromechanics of pipeline flows in the presence of such complications. The authors' work is important not only for the construction of trunk pipelines, but also for the oil industry as a whole.
Keywords: main oil pipelines, construction and operation of oil pipelines, water accumulation, scientific and practical research, computational fluid dynamics.

Одной из перспективных тематик в рамках деятельности НТЦ «НИИ Транснефть» является изучение гидравлических характеристик нефтепровода

Введение

Обеспечение бесперебойного и безопасного транспорта углеводородного сырья является одним из ключевых составляющих стратегической стабильности нефтегазовой отрасли и экономики страны в целом, залогом ее устойчивого и успешного развития. В настоящее время наметилось несколько очевидных тенденций:

1) рост геополитической напряженности;
2) увеличение интенсивности технологических процессов и рост грузооборота;
3) увеличение финансирования и ускорение внедрения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ.

Вышеперечисленные тенденции ставят перед нефтегазовыми компаниями определенные вызовы в части решения соответствующих задач. От степени обоснованности, продуманности решений, от их своевременного принятия зависит успех их реализации.

Рост геополитической напряженности определил поворот определенной части грузопотоков в сторону стран Азиатско-Тихоокеанского региона. Так, например, по состоянию на 15 января 2024 г. ООО "Транснефть – Восток" поставило потребителям 1 млрд т нефти с начала эксплуатации трубопроводной системы «Восточная Сибирь – Тихий океан». Через порт Козьмино в 2023 г. была осуществлена перевалка более 42 млн т нефти. Столь существенные объемы грузопотоков обуславливают беспрецедентную нагрузку на трубопроводную инфраструктуру. В этой связи, особенно важным становится своевременное сопровождение крупных инфраструктурных проектов результатами проводимых НИОКР. Обеспечение производства передовыми разработками позволяет решать ключевые вопросы в рамках ресурсо- и энергосбе-

Сварка шва отвода «Сковородино – Тайшет» *Источник: vostok.transneft.ru*

режения, добиваться результатов в импортозамещении и внедрении новейших технологий.

Поэтому для компании представляет важность ряд тематик НИОКР, направленных на повышение эффективности транспорта нефти по магистральным трубопроводам в условиях возрастающих грузопотоков, а также в сложных природно-климатических условиях. Одной из таких перспективных работ, выполняемых НТЦ «ООО «НИИ Транснефть», является повышение эффективности эксплуатации нефтепроводов с присутствующими в них осложнениями: скоплениями воды, газа и отложениями.

Использование передовых методов в области вычислительной гидродинамики позволило предложить важные для инженерной практики решения по вытеснению водных скоплений из пониженных участков

Роль стендового оборудования НТЦ «ООО «НИИ Транснефть» в проведении наукоемких работ в части мультифазной гидромеханики

Упрощенную схему проведения научных исследований можно представить в рамках следующей последовательности основных этапов:

1) разработка теоретических моделей и высокоточное компьютерное моделирование;
2) верификация моделей на стендовом оборудовании, настройка моделей, получение оптимального результата;
3) апробация полученных решений и внедрение результатов на объектах организаций системы ПАО «Транснефть».

В упрощенном виде процесс проведения научных исследвоаний представлен на рис. 1.

В рамках существующего процесса исследований, представленная последовательность может быть существенно улучшена за счет использования стендового оборудования, что позволяет:

– снизить сроки получения конечного результата;

Рис. 1. Этапность проведения научных исследований

Рис. 2. Экспериментальный стенд по исследованию многофазных потоков (Норвегия)

Рис. 3. Экспериментальный стенд для изучения выноса скоплений воды из пониженных участков магистральных трубопроводов (Китай)

Рис. 4. Общий вид БНВВ стенда с изменяемым профилем

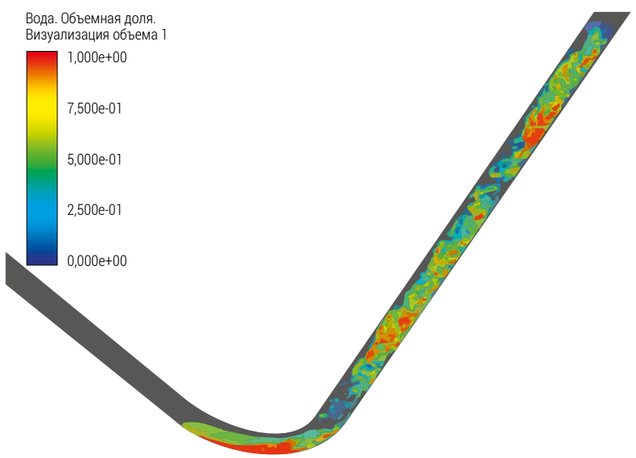


Рис. 5. Результаты моделирования выноса водных скоплений из нефтепровода методами вычислительной гидродинамики

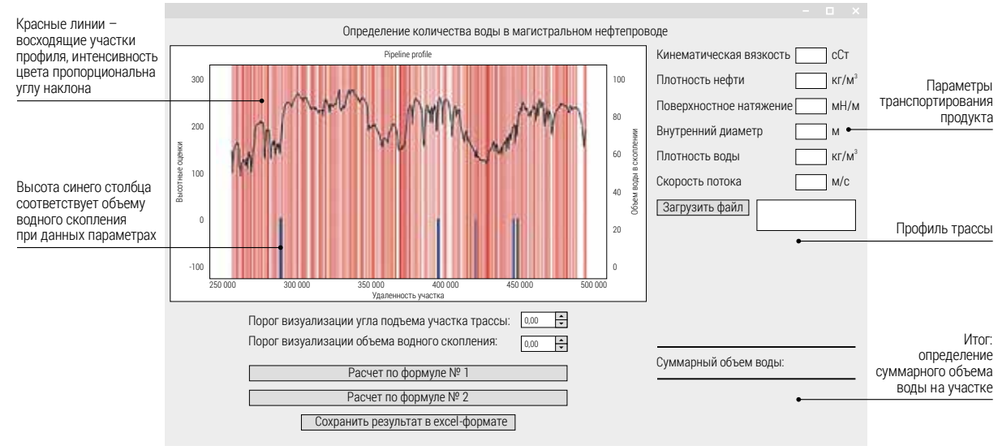


Рис. 6. Эскизный вид окна программного пакета для расчета количества воды во внутренней полости нефтепровода

– повысить качество выполненных НИОКР;
– снизить экономические издержки при выполнении апробации на объектах организаций системы «Транснефть».

Одной из перспективных тематик в рамках деятельности НТЦ «ООО «НИИ Транснефть» является изучение гидравлических характеристик нефтепровода с присутствующими осложнениями в виде водных скоплений. Наличие водных скоплений в пониженных участках трассы может быть обусловлено сложным рельефом, низкими скоростями перекачки и присутствием воды в перекачиваемой нефти. Водные скопления негативно влияют на эксплуатационные характеристики нефтепровода: повышают удельные энергозатраты на перекачку, способствуют возникновению коррозионных повреждений. Поскольку получение точных решений в рамках процесса аккумуляции и выноса водных скоплений с точки зрения гидромеханики представляет известную сложность, существует необходимость перехода от умозрительных моделей к стендовым испытаниям. Даже краткий обзор зарубежных литературных источников (см. таблицу 1) позволяет утверждать, что стендовые исследования, как правило, проводятся на трубах малого диаметра для узкого ряда модельных жидкостей, в относи-

Таблица 1. Обзор исследований по мультифазным потокам нефть/вода с привлечением стендового оборудования

Авторы	Внутренний диаметр D, мм	Отношение коэф. динамической вязкости μ_o/μ_w	Отношение плотностей ρ_o/ρ_w	Коэф. межфазного поверхностного натяжения σ, мН/м	Диапазон скоростей V, м/с	Средняя температура T,°C
Russell et al.	20,5	20,1	0,834	40	0,01–1,08	25
Charles et al.	26,4	7; 18; 72	1	45; 30	0,02–1,09	25
Hasson et al.	12,6	1,2	-	17	-	30
Guzhov et al.	39,4	21,8	0,896	44,8	0,3–1,6	21
Oglesby	41	167; 61; 32	0,87; 0,86	35,4	-	21
Arirachakaran et al.	41	28; 344; 498	0,85; 0,87	30	0,45–3,7	21
Arirachakaran et al.	26,6	1405	0,87; 0,9	32	1,5–3	21
Kurban et al.	24.3; 24	29,7	0,8	36	0,01–1,61	25
Trallero et al.	50	22–35	0,848	-	0,01–1,83	25

Полученные на стендовом оборудовании результаты могут найти приложение в разработке отечественного ПО, позволяющего повысить технологичность и безопасность трубопроводного транспорта

тельно небольших пределах изменения скоростей и температур [1].

Подобное положение дел было обусловлено нежеланием нефтегазовых компаний инвестировать в крупномасштабное стендовое оборудование ввиду отсутствия прозрачных гарантий достижимости результата. Тем более это недоступно для университетских научных центров. Со временем необходимость появления крупномасштабных стендов по исследованию сложных гидромеханических процессов стала очевидна лидерам отрасли: без высокотехнологичных, наукоемких решений невозможно осваивать шельф, прокладывать трубопроводные магистрали в сложных природно-климатических условиях, эффективно эксплуатировать масштабные трубопроводные сети.

Среди наиболее близких аналогов можно выделить стенд SINTEF (Норвегия, номинальный диаметр DN150, см. рис. 2) и стенд по изучению выноса скоплений жидкости из пониженных участков магистральных трубопроводов (Китай, DN50, см. рис. 3).

На рис. 4 представлен общий вид экспериментального стенда с изменяемым углом наклона профиля по исследованию процессов аккумуляции и выноса водных скоплений, функционирующего в НТЦ ООО «НИИ Транснефть» (г. Уфа). По своим возможностям данный стенд частично превосходит иностранные аналоги, что позволяет получать на нем уникальные результаты.

Подробнее возможности стендового оборудования НТЦ «ООО «НИИ Транснефть» описаны в работе «Стендовое моделирование процессов тепломассопереноса в магистральных нефте- и нефтепродуктопроводах» [2].

Использование передовых методов в области вычислительной гидродинамики позволило проанализировать экспериментальные данные и предложить важные для инженерной практики решения по вытеснению водных скоплений из пониженных участков (см. рис. 5).

Вдольтрассовый проезд ТС-ВСТО

Источник: «Транснефть»

Полигон НТЦ «ООО «НИИ «Транснефть»

Источник: «Транснефть»

Полученные на стендовом оборудовании результаты могут найти приложение в разработке отечественного конкурентноспособного программного обеспечения, позволяющего повысить технологичность и безопасность процессов трубопроводного транспорта (см. рис. 6).

Заключение

В рамках устойчивого развития энергетического комплекса одну из ключевых ролей играет процесс успешного выполнения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ и внедрения их результатов. Несмотря на значительные капитальные затраты на стендовое оборудование и выполнение НИОКР, проведение подобных работ позволяет обеспечить технологическое лидерство ПАО «Транснефть» в области трубопроводного транспорта.

Работа, проводимая в НТЦ «ООО «НИИ Транснефть», по изучению гидромеханики трубопроводных потоков в присутствии осложнений не только способствует решению актуальных для отрасли задач, но может служить фундаментом для будущих исследований в рамках перспективных проектов по освоению шельфа, транспорту нефти из труднодоступных районов, а также способствовать подготовке инженерно-технических кадров высокой квалификации.

Использованные источники

1. *Osundare O.S., Falcone G., Lao L., Elliott A. Liquid-Liquid Flow Pattern Prediction Using Relevant Dimensionless Parameter Groups. Energies. 2020, 13, 4355. DOI:10.3390/en13174355.*
2. *Жолобов В.В., Несын Г.В., Валиев М.И. Стендовое моделирование процессов тепломассопереноса в магистральных нефте- и нефтепродуктопроводах // Энергетическая политика. 2022. № 12 (178). С. 18–33. DOI: 10.46920/2409-5516.2022_12178.18.*

УДК 620.92 DOI 10.46920/2409-5516_2024_5196_68 EDN: EWFEKG

Достижения и проблемы возобновляемой энергетики стран СНГ

Achievements and problems of renewable energy in the CIS countries

Виталий БУТУЗОВ
Профессор, д. т. н., Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина
E-mail: ets@nextmail.ru

Vitaly BUTUZOV
Professor, Doctor of Technical Sciences,
Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin
E-mail: ets@nextmail.ru

СЭС Пашкинского месторождения *Источник: «Зарубежнефть»*

Аннотация. Представлены результаты развития возобновляемой электрогенерации (ВЭ) стран СНГ в 2022 г. по данным межгосударственного агентства IRENA и национальных операторов. Описаны законодательная база, структура управления, особенности формирования тарифов, финансирование и национальные программы развития ВЭ. Показаны структуры видов ВЭ государств содружества и результаты развития по итогам 2022 г. Описаны научные школы и подготовка кадров. Подчеркнута необходимость совершенствования статистики ВЭ.
Ключевые слова: возобновляемая электрогенерация (ВЭ), национальные операторы, установленная мощность, ГЭС, СЭС, ВЭС, ГеоЭС, БиоЭС, законы, национальные программы, структуры ВЭ, статотчетность, производство оборудования, научное обеспечение, подготовка кадров.

Abstract. The results of the development of renewable electricity generation (RE) in the countries of CIS in 2022 are presented. according to the interstate agency IRENA and national operators. The legislative framework, management structure, features of tariff formation, financing and national programs for the development of renewable energy are described. The structure of types of renewable energy in the Commonwealth states and the results of development based on the results of 2022 are shown. Scientific schools and personnel training are described. The need to improve RE statistics is emphasized.
Keywords: renewable electricity generation (RE), national operators, installed capacity, HPP, SPP, WPP, GeoPP, BioPP, laws, national programs, RE structures, statistical reporting, equipment production, scientific support, personnel training.

Региональными лидерами возобновляемой энергетики России в 2022 г. были Астраханская область, Ставропольский край и Ростовская область

Введение

В развитии возобновляемой энергетики (ВЭ) важную роль играет достоверная статистика. Такая информация доступна на сайтах международных энергетических агентств. Межгосударственное агентство по возобновляемым источникам энергии (IRENA) в 2023 г. объединяло 169 государств, каждое из которых ежегодно предоставляло статистические отчеты.

В 2023 г. на сайте www.irena.org [1] по итогам 2022 г. суммарная установленная мощность мировой возобновляемой электроэнергетики оценивалась в 3372 ГВт (100%). На рис. 1 приведена диаграмма распределения мощностей следующих видов генерации: гидроэнергетика (ГЭС) – 1256 ГВт (37,2%); солнечная энергетика (СЭС) – 1052 ГВт (31,2%); ветроэнергетика (ВЭС) – 900 ГВт (26,7%); геотермальная энергетика (ГеоЭС) – 15 ГВт (0,4%); биоэлектрогенерация (БиоЭС) – 149 ГВт (4,4%). Подготовку статистической информации в агентстве IRENA осуществляет Центр знаний, политики и финансов (Knowledge Policy and Finance Center) по отчетам национальных операторов. Статистика по ВЭ международного энергетического агентства IEA, сайт www.iea.org [2] в целом существенно не отличается от данных агентства IRENA. Международная экспертная организация REN 21 (Renewable Energy Policy Network for the 21 st Centure, сайт www.ren21.org [3]) в своих отчетах в основном проводит экспертные оценки.

В таблице 1 и на рис. 2 (по данным агентства IRENA) представлены значения суммарных установленных мощностей возобновляемой электрогенерации стран СНГ по итогам 2022 г., а на рис. 3 – диаграмма распределения мощностей по видам генерации.

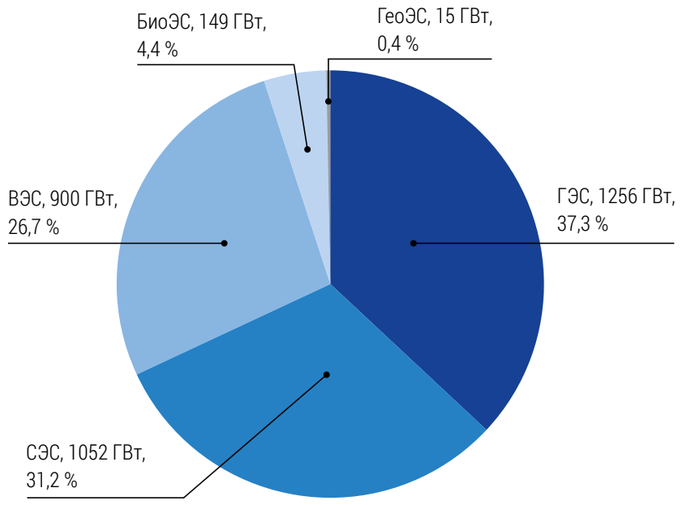


Рис. 1. Диаграмма распределения установленных мощностей ВЭ стран мира в 2022 г. (IRENA), всего 3372 ГВт (100%)

Возобновляемая электрогенерация России

В основе развития ВЭ РФ – план «ДПМ – ВИЭ-2.0» со строительством до 2035 г. ветровой, солнечной, малой гидроэнергетики с суммарной установленной мощностью до 12 ГВт, который был утвержден Распоряжением Правительства РФ № 1446-Р от 21.06.2021 г. (ДПМ – договор предоставления мощностей). Меры по декарбонизации экономики, по Распоряжению Правительства № 3052-Р от 29.10.2021 г. в том числе регламентируют развитие технологий генерации энергии на основе ВИЭ. Распоряжением Правительства РФ № 2765-Р от 01.10.2021 г. был утвержден федеральный проект «Чистая энергетика» с проведением конкурсов проектов ВИЭ и созданием отечественной сертификации электроэнергии на основе ВИЭ. Распоряжением Правительства РФ от 24.03.2022 г. № 594-Р были внесены изменения в основные направления государственной политики развития ВЭ до 2035 г. Минэнерго РФ поручено до 10 марта, сле-

Таблица 1. Установленные мощности возобновляемой энергетики стран СНГ в 2022 г. (IRENA) в МВт

Страна	Суммарная установленная мощность возобновляемой электрогенерации, МВт	Виды ВЭ, МВт				
		ГЭС	СЭС	ВЭС	ГеоЭС	БиоЭС
Российская Федерация (РФ)	58235	52754	1816	2218	74	1373
Украина	16760	6662	8062	1761	-	275
Республика Казахстан (РК)	5954	2807	2031	1108	-	8
Республика Узбекистан (РУз)	2301	2048	252	1	-	-
Республика Таджикистан	5274	5274	-	-	-	-
Грузия	3132	3080	23	29	-	-
Республика Армения	1583	1345	235	3	-	-
Азербайджанская Республика	1294	1177	51	66	-	-
Киргизская Республика	2780	2780	-	-	-	-
Туркменистан	2	2	-	-	-	-
Республика Беларусь (РБ)	632	96	273	122	-	141
Республика Молдова	-	-	-	-	-	-
Всего:	97947	78025	12743	5308	74	1797

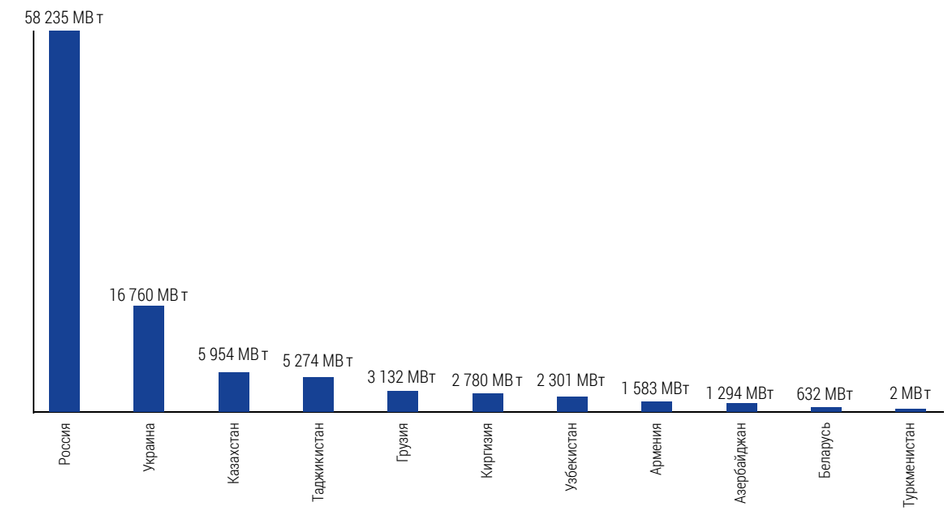


Рис. 2. Значение суммарных мощностей ВЭ стран СНГ в 2022 г. (IRENA)

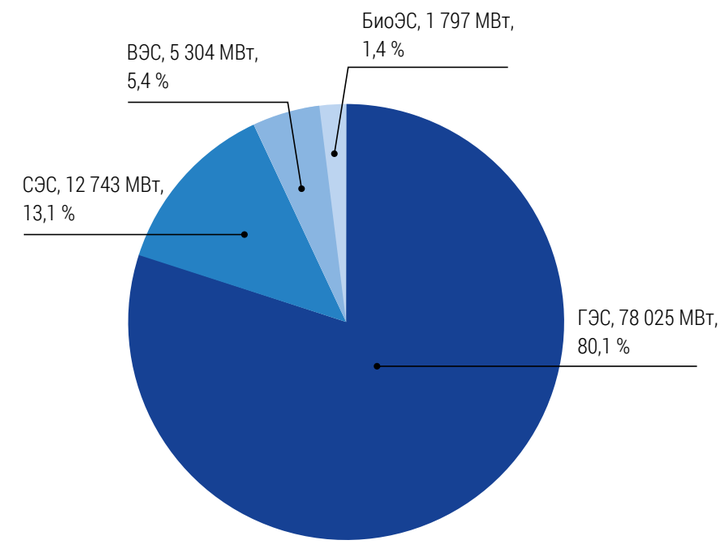


Рис. 3. Диаграмма распределения видов ВЭ стран СНГ (IRENA), всего 97947 МВт (100%)

По экспертным данным, суммарное значение установленной мощности фотоэлектрических станций отдельных потребителей сравнимо со значением мощности СЭС, работающих в энергосистеме

дующего за отчетным годом, готовить информацию об анализе цен на электроэнергию на основе ВИЭ, о введенных в эксплуатацию установленных мощностях электрогенерации на оптовом и розничном рынках, а также объектов микрогенерации.

Согласно данным агентства IRENA [1], суммарная установленная мощность ВЭ РФ в 2022 г. составила 58,23 ГВт (100%), в том числе ГЭС – 52,75 ГВт (90,6%); ВЭС – 2,22 ГВт (3,8%); СЭС – 1,82 ГВт (3,1%); БиоЭС – 1,37 ГВт (2,4%); ГеоЭС – 0,07 (0,1%) (рис. 4). По отчету Системного оператора (СО) ЕЭС РФ [4], суммарная установленная мощность ВЭ в объединённой энергосистеме составила 55,71 ГВт (100%), в том числе ГЭС – 50 ГВт; ВЭС – 2,3 ГВт; СЭС – 2,12 ГВт; ГеоЭС – 0,074 ГВт [7] (рис. 5). В обзоре Ассоциации российской возобновляемой энергетики [5] описаны основные тенденции развития ВЭ. По ее данным, ветроэнергетика России в 2022 г. имела суммарную установленную мощность 2,28 ГВт, в том числе на оптовом рынке 2,168 ГВт (24 ВЭС), в технологически изолированных территориальных энергосистемах 0,0228 ГВт. В 2022 г. ООО «Энел-Рус-Винд Кола» ввела в эксплуатацию I очередь Кольской ВЭС в Мурманской области (170,4 МВт), а АО «Ветро ОГК – 2» – Берестовскую ВЭС в Ставропольском крае (60 МВт). На розничном рынке АО «Калининградская генерирующая компания» ввела в эксплуатацию Зеленоградскую ВЭС (0,6 МВт). В 2022 г. фирмы «Vestas», ПАО «Энел-Рус», «Сименс-Гамеса» сворачивали свои производства и организации по монтажу ветроагрегатов. Успешную деятельность продолжало АО «НовоВинд» ГК «Росатом» с производством комплектующих в г. Волгодонске.

Солнечная электрогенерация России в 2022 г. по данным СО ЕЭС РФ имела установленную мощность 2,12 ГВт. Основным отечественным производите-

Анадырская ВЭС на мысе обсервации Анадырского района

Источник: projects.fedpress.ru

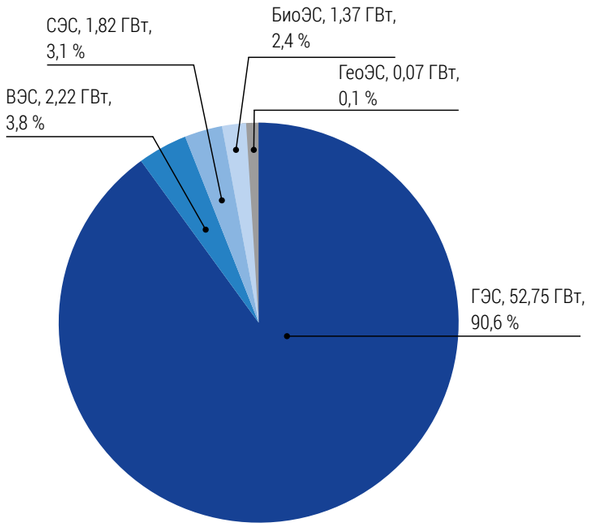


Рис. 4. Диаграмма распределения установленной мощности видов ВЭ РФ в 2022 г., IRENA, всего 58,23 ГВт (100%)

лем фотоэлектрических модулей (ФЭМ) и инвестором сооружения СЭС являлось ГК «Хевел». Значительные объемы производства ФЭМ и сооружения СЭС обеспечивало ООО «Солар-Системс», которое в 2017–2020 гг. построило на оптовом рынке 20 СЭС, а в 2022 г. – три СЭС на розничном рынке в Башкортостане, Краснодарском крае и Ульяновской области. В 2021 г. ООО «Солар-Системс» подписало соглашение с китайской фирмой Wuxi Suntech Power о строительстве в РФ завода по производству ФЭП и ФЭМ с годовой программой 300 МВт. В 2023 г. в Калининградской области ГК «Росатом» построил завод ЭНКОР по производству 1,3 ГВт в год кремниевых пластин и 1 ГВт в год ФЭМ. В 2022 г. в России на оптовом рынке были построены СЭС общей установленной мощностью 137,6 МВт. ООО «Грин Энерджи Рус» (ГК «Хевел») завершило сооружение Дергачевской СЭС (2 и 3 очередь) в Саратовской обл. – 35 МВт; Южно-Сухокумской (Ногайской) СЭС в Дагестане – 15 МВт; Читинской СЭС (2 очередь) в Забайкальском крае – 15 МВт; Черновской СЭС (1 и 2 очереди) в Забайкальском крае – 35 МВт. ООО «Фортум – Новая Генерация 2» ввела в эксплуатацию Аршанскую СЭС (Элистинскую) в Калмыкии – 37,6 МВт. На розничном рынке было завершено строительство ООО «Курай Солар» Агидельской СЭС (1 и 2 очереди) в Башкортостане – 9,98 МВт, ООО «Лукойл-Кубаньэнерго» СЭС на территории Краснодарской ТЭЦ – 2,35 МВт. В изолированных энергосистемах (ТИТЭС) ООО «Группа ЭНЭЛТ» и ООО «КЭР» были построены в Якутии в Верхоянске энергокомплексы на основе газопоршневых агрегатов и СЭС (АГУЭ) в населенных пунктах: Хонуу, Сасыр, Тебюляк, Кулун-Елбют общей мощностью 2,96 МВт. ООО «Хевел Энергосервис» построило АГУЭ в п. Марково на Чукотке мощностью 0,8 МВт, в Тыве (с. Тоора-Хем) – 1 МВт.

Малая гидроэнергетика России имела в 2022 г. суммарную установленную мощность 1220 МВт. На оптовом рынке ПАО «РусГидро» была введена в эксплуатацию Красногорская МГЭС-2 в Карачаево-Черкессии мощностью 24,9 МВт, а на розничном – Малая Краснополянская ГЭС в Краснодарском крае – 1,5 МВт (ООО «Лукойл-Экоэнерго»). Геотермальная электрогенерация трех ГеоЭС на Камчатке имела установленную мощность 74 МВт, а выработка электрической энергии в 2022 г. составила 1637 млн кВт·ч. Паужетская ГеоЭС (11 МВт) снизила производство, а Мутновская ГеоЭС с установленной мощностью 50 МВт с вводом в эксплуатацию новой геотермальной скважины увеличила свою долю в энергобалансе

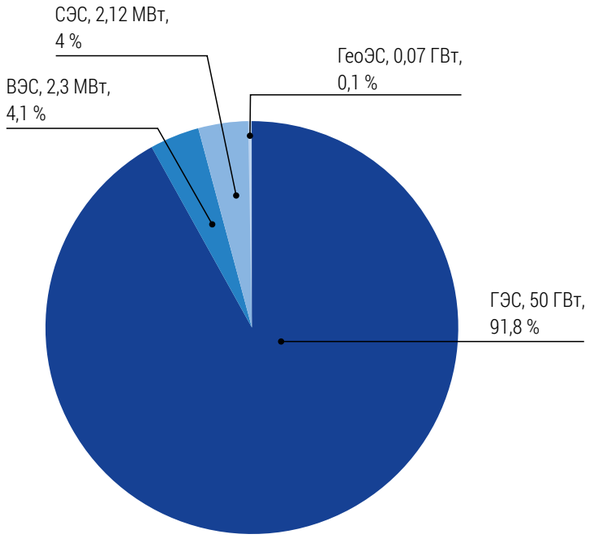


Рис. 5. Диаграмма распределения установленной мощности видов ВЭ РФ в 2022 г., СО ЕЭС РФ, всего 55,71 ГВт (100%)

Камчатки до 24,7%. Биоэнергетика России, по данным агентства IRENA, в 2022 г. имела установленную мощность 1373 МВт (отчетность Минэнерго и топлива РФ – 2002 г.). На 01.11.2023 г. достоверная статистика по электрогенерации РФ на основе биомассы отсутствовала.

Региональными лидерами ВЭ России в 2022 г. были Астраханская область – 625 МВт, в том числе СЭС – 285 МВт; ВЭС – 340,2 МВт; Ставропольский край – 615,3 МВт, в том числе СЭС – 100 МВт, ВЭС – 510 МВт; Ростовская область – 607,3 МВт, в том числе СЭС – 234,1 МВт, ВЭС – 216,6 МВт.

Научными исследованиями в области возобновляемой энергетики занимались институт ОИВТ РАН (солнечная, водородная, биоэнергетика, геотермальная энергетика), научное учреждение РАН-ВИМ (бывший ВИЭСХ), (солнечная и биоэнергетика), а также 5 вузов:

1) НИУ МЭИ (Москва) – гидроэнергетика, солнечная и ветровая энергетика;
2) лаборатория ВИЭ МГУ (Москва) – климатические базы данных, экономика ВИЭ, биоэнергетика;
3) НОЦ «ВИЭ» СПбПУ (Санкт-Петербург) – ветро- и солнечная энергетика в арктических условиях;
4) кафедра АЭС и ВИЭ, УРФУ (Екатеринбург) – солнечная, ветровая, биоэнергетика;
5) кафедра электрических станций сетей и электроснабжения, ЮУрГУ (Челябинск) – солнечная и ветровая энергетика.

Из анализа деятельности научных школ ВЭ РФ следует, что отсутствует координирующая национальная организация по комплексному исследованию проблем ВИЭ. Финансирование НИОКР по ВИЭ недостаточно. Академические учреждения финансируют работы по ВИЭ в рамках их общих бюджетов, а вузовские организации – из бюджетов образовательной деятельности. Данные по установленной мощности и выработанной электроэнергии публикуются в отчетах «Системного оператора ЕЭС РФ» [4]. При сравнении диаграмм распределения установленной мощности в 2022 г. агентства IRENA (рис. 4) и СО ЕЭС РФ (рис. 5) выявлены существенные расхождения. Так, в отчете СО ЕЭС РФ отсутствуют данные по установленной мощности БиоЭ С. В обзорах Ассоциации российской возобновляемой энергетики (АРВЭ) [5] при этом приводятся факты ввода в эксплуатацию только отдельных БиоЭС, а значение суммарной установленной мощности БиоЭС в РФ (1,37 ГВт), по данным д. т. н. П. П. Безруких, было актуально в 2002 г. В РФ отсутствует статистика ввода в эксплуатацию фотоэлектрических станций (ФЭС) отдельных потребителей, не работающих в составе единой энергосистемы страны. По экспертным данным, суммарное значение установленной мощности таких ФЭС сравнимо со значением мощности СЭС, работающих в энергосистеме. В современных условиях отчеты о вводе в эксплуатацию должны дополняться данными таможенных и налоговых служб. Примером такой методики могут служить результаты обработки материалов по солнечной теплогенерации (рис. 6). Структура основных потребителей солнечной теплогенерации была принята по классификации общепризнанной в мире экспертной организации AEE INTEC [6]. При этом были учтены площади производственных солнечных коллекторов, построенных гелиоустановок, отчетные данные таможенных и налоговых органов по зарубежным солнечным коллекторам и гелиоустановкам.

Подготовкой специалистов по ВИЭ (бакалавров и магистров) в 2022 г. в РФ занимались 17 вузов с годовым выпуском более 300 человек. Обучение ученых осуществляли аспирантуры 4 вузов и одного учреждения РАН с ежегодным выпуском 50 человек. Общая численность преподавателей по ВИЭ составляла до 150 человек. Программы и методики обучения по ВИЭ утверждались каждым вузом в отдельности. В РФ был один специализированный журнал по ВИЭ, а статьи по этой теме публиковались в 13 научно-технических журналах. За последние 5 лет были напечатаны 610 статей по ВИЭ. Научно-техническая общественность была объединена в нескольких организациях, в том числе: Ассоциации по возобновляемой энергетике (АРВЭ), Ассоциации по ветроэнергетике, комитете ВИЭ Союза научных и инженерных организаций.

В Белоруссии в 2022 г. суммарная установленная мощность электрогенерации на основе ВИЭ составляла 631 МВт, в том числе МГЭС – 96 МВт; ВЭС – 112 МВт; СЭС – 269 МВт; БиоЭС – 120 МВт

Возобновляемая электрогенерация Беларуси

В основе развития ВЭ РБ – закон № 204-Ф от 24.02.2021 г. «О возобновляемых источниках энергии» и госпрограм-

Рис. 6. Диаграмма распределения площадей гелиоустановок РФ в 2022 г. с учетом зарубежных поставок солнечных коллекторов, всего 85600 м^2 (100%)

ма «Энергосбережение на 2021–2025 гг.», утвержденная постановлением СМ РБ № 103 от 24.02.2021 г. К концу 2023 г. этой программой было предусмотрено сооружение электрогенерации на основе ВИЭ общей мощностью 129,5 МВт, в том числе ВЭУ – 29,8 МВт; МГЭС – 29,1 МВт; СЭС – 10 МВт; БиоЭС – 15 МВт; электрогенерации на ТБО – 40 МВт, на биоотходах – 83 МВт, биогазе – 37 МВт. Эта программа предполагает сооружение теплонасосных установок (ТНУ) на 17 объектах общей тепловой мощностью 28,6 МВт [7]. Реализация государственной политики в области ВИЭ поручена Департаменту энергоэффективности госкомитета Совета Министров по стандартизации, а статотчетность предоставляется по форме «4-Энергосбережение». Научным сопровождением занимается лаборатория ВИЭ Института энергетики НАН Республики Беларусь с секторами био-, солнечной энергетики и утилизации отходов. Научно-техническую общественность страны объединяет ассоциация «Возобновляемая энергетика» (www.energobelarus.by), а статьи публикуются в журналах «Энергетическая стратегия» и «Энергоэффективность».

СЭС в Беларуси
Источник: carposting.ru

По данным агентства IRENA, в Белоруссии в 2022 г. суммарная установленная мощность электрогенерации на основе ВИЭ составляла 631 МВт (100%), в том числе МГЭС – 96 МВт; ВЭС – 112 МВт; СЭС – 269 МВт; БиоЭС – 120 МВт (Рис. 7). В январе 2023 г. Департамент энергоэффективности Белоруссии сообщил о достижении суммарной установленной мощности ВЭ – 631,5 МВт, в том числе 108 ВЭУ – 122 МВт; 84 СЭС – 273 МВт; 54 ГЭС – 96 МВт, 31 биогазовой установки – 40 МВт, 11 мини-ТЭЦ на дровах – 100 МВт. Доля ВЭ в общем энергобалансе РБ составила 8,1% [7]. В 2023 г. Правительство Белоруссии приступило к реализации рекомендаций агентства IRENA: по доработке концепции энергетической безопасности в части увеличения доли ВИЭ в общем энергобалансе; дополнению закона о теплоснабжении разделом ВИЭ; оценке потенциала биомассы и геотермальных ресурсов; разработке стандарта доступа ВЭ на рынок электроэнергии; прогнозированию выработки электроэнергии СЭС и ВЭС и т. п.

В солнечной энергетике Белоруссии при её общей установленной мощности 269 МВт около половины составляла мощность СЭС «Малая Речица» (109 МВт), построенная в зоне отчуждения Чернобыльской АЭС в Черниковском районе Могилевской области. Крупными СЭС являются также станции «Беларусьнефть» (55 МВт) и «Солар II» в Гомельской области. В ветроэнергетике РБ одна треть ВЭУ установлены в г. Новопрудске Гродненской области. На станции работают ВЭУ китайских производителей с единичной мощностью от 1,5 до 3,3 МВт. В биоэлектрогенерации из 31 биогазовой установки самой мощной – 4,8 МВт – является БиоЭС СПК «Рассвет» в Могилевской области [8].

Возобновляемая электрогенерация Казахстана

По данным агентства IRENA, суммарная установленная мощность ВЭ Казахстана в 2022 г. составляла 5954 МВт (100%), в том числе ГЭС – 2807 МВт (47,2%); ВЭС – 1108 МВт (18,6%); СЭС – 2031 МВт (34,1%); БиоЭС – 8 МВт (0,1%). На рис. 8 представлена диаграмма распределения этих мощностей.

По данным Минэнерго страны, суммарная установленная мощность 130 электростанций на основе ВИЭ Казахстана в 2022 г. составляла 2388 МВт при годовой выработке электрической энергии 5111 млн кВт·ч. Работали 44 системных СЭС с общей установленной мощностью 1148 МВт и выработкой 1763 млн кВт·ч/

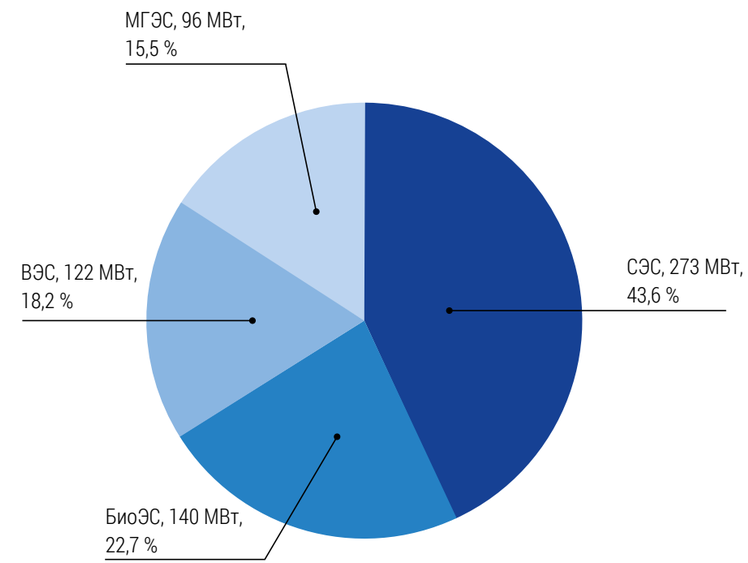


Рис. 7. Диаграмма распределения установленных мощностей ВЭ Беларуси в 2022 г. по данным агентства IRENA, всего 631 МВт (100%)

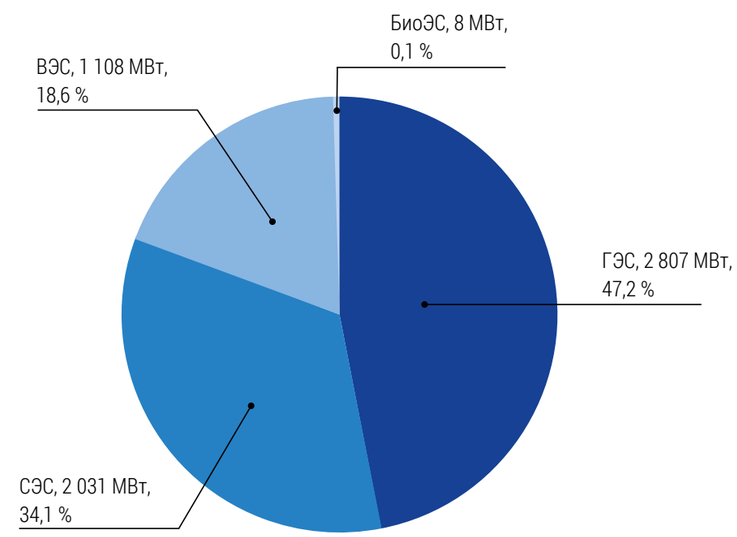


Рис. 8. Диаграмма распределения установленных мощностей ВЭ Казахстана (IRENA) в 2022 г., всего 5954 МВт (100%)

год. 46 системных ВЭС имели общую мощность 958 МВт и выработку 2411 млн кВт·ч /год. Всего 37 малых ГЭС с общей установленной мощностью 280 МВт выработали 934 млн кВт·ч/год. Общая мощность трех БиоЭС составляла 1,77 МВт. Доля выработки электростанций на ВИЭ в 2022 г. достигла 4,53% от общей выработки электроэнергии в стране [9]. Ресурсная база электрогенерации на ВИЭ Казахстана представлена в отчете USAiD (Агентство США по международному развитию), ветровой энергии в Атласе 2009 г., солнечной – в Атласе, разработанных казахстанскими специалистами.

Госрегулирование ВЭ в Казахстане осуществляется в соответствии с законом № 165-IV от 04.07.2004 г. «О поддержке использования возобновляемых источников энергии» и концепцией перехода Республики Казахстан к «зеленой» энергетике от 30.05.2013 г. Основные принципы госрегулирования: гарантированный сбыт электроэнергии по специальным тарифам и обеспечение налоговых льгот. Структурой госрегулирования являлось ТОО «Расчетный финансовый центр возобновляемой энергетики» (РФЦ). У генераторов ВЭ электроэнергия приобреталась ТОО «РФЦ» по аукционным ценам. Оптовые энергоснабжающие организации закупали у него электроэнергию по установленному государством тарифу поддержки ВИЭ и реализовали по, так называемому, «предельному тарифу со сквозной надбавкой на ВИЭ». На аукционных торгах 2022 г., при общей заявленной мощности электрогенерации на ВИЭ 440 МВт, было отобрано 15 проектов, в том числе: ВЭС – 400 МВт, СЭС – 40 МВт. В 2022 г. были введены в эксплуатацию 12 объектов ВИЭ суммарной мощностью 385 МВт. Налоговые льготы состояли

В солнечной энергетике Белоруссии при её общей установленной мощности 269 МВт около половины составляла мощность СЭС «Малая Речица», построенная в зоне отчуждения Чернобыльской АЭС

СЭС в Казахстане
Источник: polyset.kz

из пониженных значений НДС, земельного и подоходного налогов. Инвестиционные льготы достигали 30% сметной стоимости. Государственные натурные гранты включали земельные участки и здания. Для домашних хозяйств, не подключенных к электросетям, при мощности до 5 кВт практиковался возврат государством до 50% инвестиций в ВЭ [8]. Основными инвесторами сооружения СЭС и ВЭС в Казахстане являлись: Total Eren SA – 178 МВт; SolarNet – 176 МВт; ГК «Хевел» – 170 МВт; UG Energy Ltd – 150 МВт; Universal Energy Co.Ltd – 130 МВт; АО «Самрук-Энерго» – 125 МВт. Подготовку специалистов по ВИЭ (бакалавров, магистров, инженеров) вели 3 учебных заведения: Алматинский университет энергетики и связи (бакалавры); Казахстано-немецкий университет в г. Алматы (бакалавры, магистры); Рудненский индустриальный институт (инженеры).

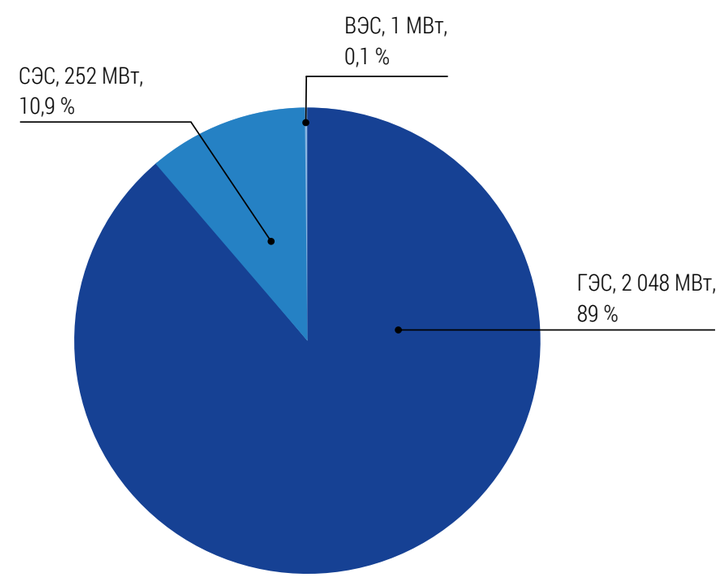
Возобновляемая электрогенерация Узбекистана

В основе развития ВЭ Узбекистана – закон № ЗРУ-538 от 21.05.2019 г. «Об использовании возобновляемых источников энергии». Органом государственного и хозяйственного управления является Министерство энергетики. Указом президента страны № УП-220 от 09.09.2022 г. «О дополнительных мерах по внедрению энергосберегающих технологий и развитию возобновляемых источников энергии малой мощности» установлены задания по проектированию и вводу в эксплуатацию объектов фотоэнергетики и солнечного горячего водоснабжения (ГВС) социальных, государственных учреждений, односемейных и многоквартирных домов, торгово-развлекательных центров. Предусмотрены налоговые преференции и компенсационные выплаты владельцам гелиоустановок из специально созданного Внебюджетного межотраслевого фонда энергосбережения при Минэнерго. Контроль за выполнением мероприятий возложен на соответствующие Государственные инспекции. Ближайшее будущее развития ВЭ определено Постановлением Президента Узбекистана № ПП-57 от 16.02.2023 г. «О мерах по ускорению внедрения возобновляемых источников энергии и энергосберегающих технологий в 2023 г.».

По данным агентства IRENA, в 2022 г. установленная электрическая мощность ВЭ составляла 2301 МВт, в том числе ГЭС – 2048 МВт, СЭС – 252 МВт, ВЭС – 1 МВт (рис. 9). На 24.10.2023 г., по данным д. т. н. Рашидова Ю. К., в соответствии с Указом Президента Узбекистана № УП-220 от 09.09.2022 г. на 8800 объектах социальной сферы и госучреждений были установлены фотоэлектрические установки (ФЭУ) общей мощностью 174,4 МВт и гелиоустановки ГВС общей тепловой мощностью 9,16 МВт, на 11651 зданиях частных предпринимателей – ФЭУ мощностью 134,1 МВт. На 35523 односемейных домах были смонтированы ФЭУ мощностью 69,2 МВт и гелиоустановки ГВС тепловой мощностью 4,37 МВт, а на 329 зданиях МКД – 3,38 МВт ФЭУ и гелиоустановок ГВС – 3,38 МВт. Суммарная установленная электрическая мощность указанных ФЭУ составила 381 МВт (100%), а тепловая мощность гелиоустановок ГВС – 13,53 МВт.

По данным агентства IRENA, в 2022 г. установленная электрическая мощность фотоэнергетики Узбекистана составляла 252 МВт. Эти данные включали в основном две системные СЭС мощностью по 100 МВт в Нурабадском районе Самаркандской и в Карманинском районе Навоийской областей. В стадии строительства еще три СЭС общей мощностью 600 МВт, в том числе 100 МВт «Чугонота» в г. Самарканде, 200 МВт «Гузор» и «Шеробод» в Сурхандаринской области, 300 МВт «Гузор» в Кашкадарьинской области. В 2023 г. в г. Янгиюле Ташкентской области приступил к работе завод компании Enter Solar Green Energy по производству фотоэлектрических мо-

Рис. 9. Диаграмма распределения видов возобновляемой электрогенерации Узбекистана в 2022 г., IRENA, всего 2301 МВт (100%)



ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ПОЛИТИКА №5(196) / 2024

Суммарная установленная мощность возобновляемой энергетики Казахстана в 2022 г. составляла 5954 МВт, в том числе ГЭС – 2807 МВт; ВЭС – 1108 МВт; СЭС – 2031 МВт; БиоЭС – 8 МВт

дулей (до 200 МВт в год). Нормативные документы по ФЭС в 2022 г. пополнились нормами проектирования ШНК 2.04.15–22 «Фотоэлектрические станции (системы)» [10]. В 2022 г. суммарная установленная мощность ГЭС составляла 2048 МВт. Развитием и эксплуатацией гидроэнергетики в стране занимается АО «Узбекгидроэнерго». В 2023 г. эксплуатировались 50 ГЭС общей установленной мощностью 2245 МВт и строилось 9 станций общей мощностью 490 МВт. В Узбекистане созданы совместные предприятия с Китаем, Южной Кореей для производства гидроэнергетического оборудования [11].

На основании данных 90 метеостанций Узбекистана, в 2015 г. АО «Узбекэнерго» совместно с зарубежными организациями был создан Национальный атлас ветров [12]. В 2010–2012 гг. по проектам АО «Узбекгидропроект» были построены 2 ВЭС. Первая – вблизи Чарвакского водохранилища Ташкентской области с установленной мощностью 170 кВт с корейским ветроагрегатом, вторая – у пос. Юбилейного Ташкентской области мощностью 750 кВт с китайским ветроагрегатом. По данным Минэнерго Узбекистана (www.minenergo.uz), в 2023 г. велось строительство ВЭС мощностью 500 МВт в Тамдымском районе Навоийской области, двух ВЭС по 500 МВт в Бухарской области и ВЭС мощностью 100 МВт в Караузякском районе Каракалпакии.

Основными научными организациями по развитию ВЭ являются Научно- исследовательский институт возобновляемой энергетики Минэнерго Республики Узбекистан (с 2022 г.) и НПО «Физика – Солнце» Физико-технического института Академии наук, в состав которого входят: институт энергетики и автоматики, институт материаловедения, лаборатории полупроводниковых солнечных элементов, гелиополигон, международная ассоциация солнечной энергетики с учебным центром. Научными исследованиями в области ВЭ занимаются также 12 вузов, в том числе 10 из них – подготовкой бакалавров и магистров по специальности «Альтернативные источники энергии»: В г. Ташкенте с 1965 г. издается специализированный международный научный журнал «Гелиотехника» (английская версия Apple Solar Energy), входящий в международную базу данных Scopus. Владелец – Springer Nature Switzerland AG (www.springer.com). Основная тематика журнала: солнечная теплогенерация, фотоэлектрические и термофотоэлектрические модули и установки на их основе, солнечная сушка продуктов и опреснение воды, солнечные сушилки и концентраторы. Главный редактор – д. т. н. Ж. С. Ахатов (ФТИ АН Уз). В Узбекистане в области ВЭ работают представительства ведущих международных организаций: Агентства США по международному развитию (программа Power Central Asia), Программы развития ООН (ПРООН), Азиатского банка развития, Глобального экологического фонда (ГЭФ), Всемирного банка, Регионального центра Центральной Азии (РЦЦА). Профильные институты Академии наук РУз успешно сотрудничают с международными и российскими академическими и вузовскими организациями, в том числе с институтом ОИВТ РАН, МГУ (лаборатория ВИЭ), МЭИ. В 2023 г. Министерства образования и науки России и Узбекистана утвердили совместный план действий по проведению научных исследований, созданию лабораторий по испытанию и производству солнечных модулей, разработке дорожной карты по подготовке инженерно-технических кадров на 2023–2025 гг.

СЭС в Узбекистане
Источник: Пресс-служба Минэнерго Узбекистана

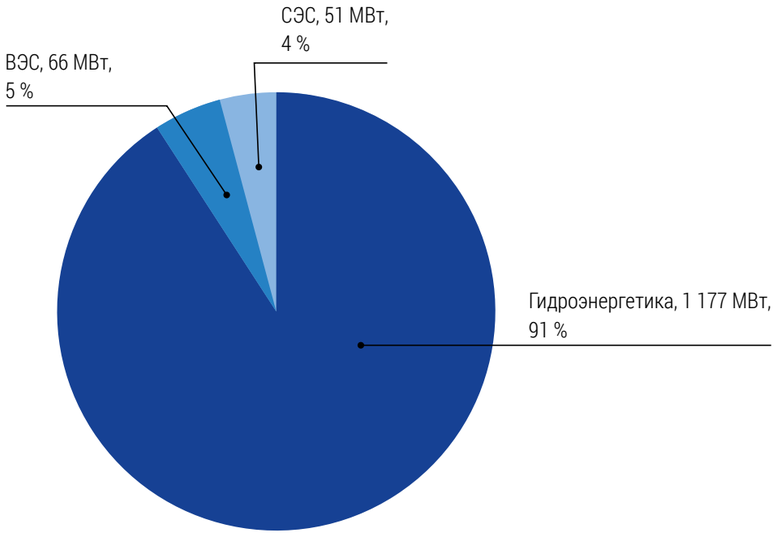


Рис. 10. Диаграмма установленной мощности ВЭ АР в 2022 г. по агентству IRENA, всего 1294 МВт (100%)

Возобновляемая электрогенерация Азербайджанской Республики

На рис. 10 представлена диаграмма распределения установленной мощности ВЭ Азербайджанской Республики (АР) в 2022 г. агентства IRENA. При суммарном значении 1294 МВт (100%) большая часть приходится на гидроэнергетику – 1177 МВт (91%). Мощности СЭС и ВЭС составляли 51 МВт (4%) и 66 МВт (5%).

Состояние возобновляемой электрогенерации Азербайджана в 2020 г. описано Р. К. Мирзоевым и С. М. Мирзоевой в статье [13]. В 2012–2015 гг. были построены экспериментальный гибридный полигон «Гобустан» общей установленной мощностью 5,5 МВт в составе ВЭС – 2,7 МВт; СЭС – 1,8 МВт; БиоЭС на биогазе – 1 МВт; и энергокомплекс «Самух» общей мощностью 14 МВт в составе ВЭС – 5 МВт; СЭС – 5 МВт; ГеоЭС – 2 МВт; БиоЭС на биогазе – 2 МВт.

В стране были построены ВЭС общей установленной мощностью 212,9 МВт: Пиракешкуль – 80 МВт; Хызы / Ситалчай – 5,3 МВт; Хызы / Шурабад – 48 МВт; Ени Яшма – 50 МВт; Мутвит – 8 МВт; Яшна Биглари – 3,6 МВт; ВЭС экологического парка «Центр экологических исследований» – 10 МВт; Хокмели – 8 МВт. С учетом ВЭС энергокомплексов, суммарная установленная мощность ВЭС составляла 220,6 МВт.

По данным [18], работали СЭС: Кангарли – 5 МВт; Сумгаитская – 2,1 МВт; Сахильская – 1,9 МВт; Суруханская – 1,6 МВт; Пироллахи – 1,1 МВт, ФЭС отдельных зданий – 0,6 МВт. Общая установленная мощность СЭС в статье оценивалась в 42 МВт. В 2023 г. была введена в эксплуатацию Гарадагская СЭС мощностью 240 МВт. Суммарная мощность ГЭС в той же статье оценивалась в 1135 МВт, в том числе крупных 1110,4 МВт и 13 малых ГЭС – 24,6 МВт. В 2012 г. был построен самый большой в СНГ Бакинский завод утилизации ТБО с установленной мощностью электрогенерации 35 МВт. На биогазе работают электростанции энергокомплексов «Гобустан» (1 МВт) и «Самух» (2 МВт). С учетом

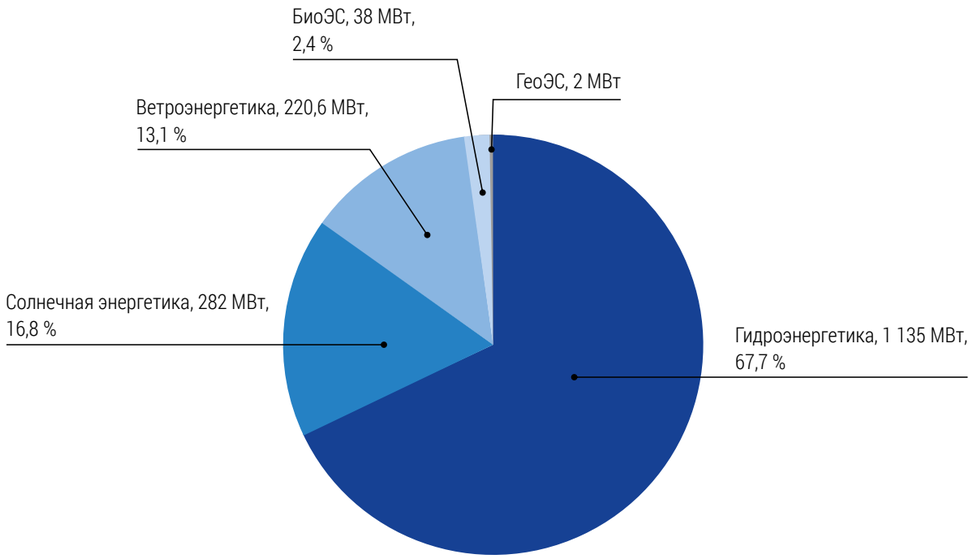


Рис. 11. Диаграмма установленной мощности ВЭ АР в 2023 г, всего 1677,6 МВт (100%)

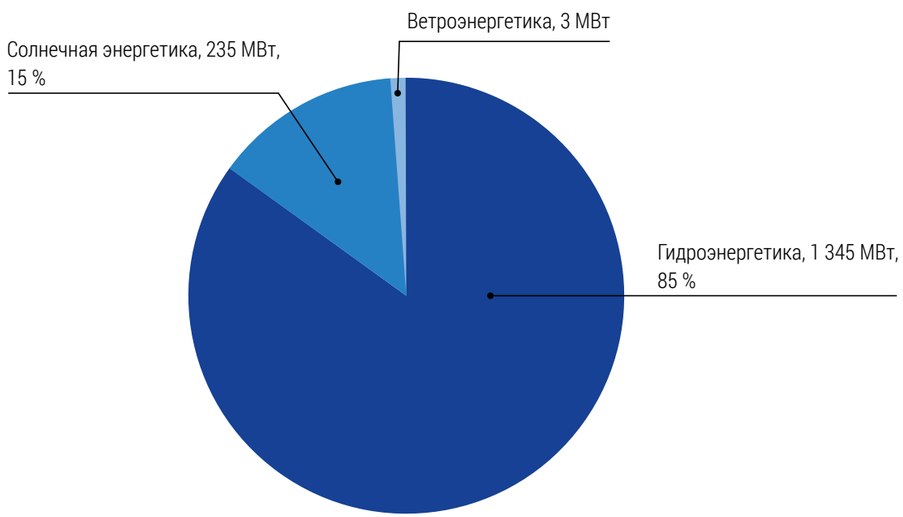


Рис. 12. Диаграмма распределения установленной мощности ВЭ РА в 2022 г. (IRENA), всего 1583 МВт (100%)

вышеизложенного на рис. 11 представлена диаграмма установленной ВЭ АР в 2023 г.

В основе использования ВИЭ – закон АР «Об использовании возобновляемых источников энергии» от 31 мая 2021 г. Органом управления развития ВИЭ является Госагентство по возобновляемым источникам энергии при Министерстве энергетики. Ведущей научной и образовательной организацией в области ВИЭ является Бакинская высшая школа нефти (БВШН), в которой в 2016 г. создан учебный и исследовательский центр по подготовке инженеров по ВИЭ. Данная работа выполняется в сотрудничестве с университетами г. Ахена (ФРГ) и британского Уорвика. При содействии британской компании British Petroleum сотрудниками БВШН Э. Гасымовым и Р. Аббасовым в 2023 г. был подготовлен первый в АР учебник «Введение в использование возобновляемых источников энергии», одобренный Минобрнауки и образования республики.

Возобновляемая энергетика Республики Армении

На рис. 12 представлена диаграмма распределения мощностей ВЭ Республики Армения (РА) в 2022 г. по данным агентства IRENA. Развитие ВЭ в Азербайджане осуществляется в соответствии с законом № ЗР-122 от 09.11.2004 г. Госорганом управления ВЭ является Фонд возобновляемой энергетики и энергоэффективности. В энергобалансе РА основным энергоисточником являются ГЭС общей установленной мощностью 1345 МВт, состоящие в основном из двух каскадов: Воротанского и Севан-Разданского. Первая ВЭС – «Лори-1» мощностью 2,64 МВт – была построена в 2005 г. Согласно статье [14], в 2021 г. работала Гагаркуникская ВЭС Zod Wind мощностью 20 МВт. Солнечная энергетика была представлена несколькими тысячами ФЭС единичной мощностью до 500 кВт. В 2022 г. были построены 2 СЭС «Барев Арев» мощностью по 6,1 МВт с устройствами слежения за солнцем. В 2023 строились системные СЭС «Масрик-1» мощностью 55 МВт и СЭС «Айг-1» в Арагацотнске мощностью 200 МВт. В 2008 г. была построена первая в РА Лусакертская БиоЭС в Нор Гезы на биогазе птицефабрики установленной мощностью 0,85 МВт. В 2016 г. были пробурены 2 разведочные геотермальные скважины глубиной 1500 м и 1682 м на месторождениях Джермахбюр и Каркар для сооружения Ге-

СЭС в Армении

Источник: dialogorg.ru

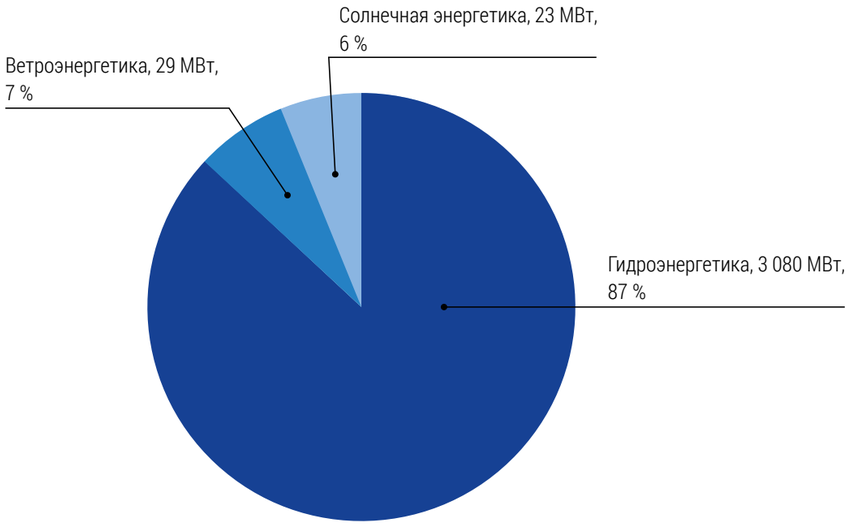


Рис. 13. Диаграмма распределения установленной мощности ВЭ Грузии в 2022 г. по данным агентства IRENA, всего 3132 МВт

оЭС мощностью 30–50 МВт [15]. Научными исследованиями по возобновляемой энергетике в РА занимаются ЗАО «НИИ энергетики» и Институт экономики НАН РА. Подготовка кадров по ВИЭ в РА в 2022 г. не велась.

Возобновляемая электроэнергетика Грузии

На рис. 13 приведена диаграмма распределения установленных мощностей Грузии в 2022 г., по данным агентства IRENA.

В советские годы в Грузии была одна из передовых научных школ развития ВИЭ. Было выполнено распределение регионов республики по потенциалу солнечной, ветровой, геотермальной энергии. Грузия была пионером по развитию солнечной теплогенерации: разработана оптимальная конструкция солнечного коллектора и освоено серийное производство, работало специализированное монтажное управление. Впервые в СССР в Грузии было освоено использование тепловых насосов в солнечных и геотермальных системах теплоснабжения.

В 2022 г. в Грузии в области ВИЭ работало АО «Фонд развития энергетики Грузии» Министерства экономики и устойчивого развития (www.seeca.eu). В основе энергетики Грузии – 94 ГЭС большой мощности и 959 микро ГЭС с суммарной мощностью 57 МВт. В 2022 г. работала ВЭС в Гори мощностью 20 МВт. Солнечная энергетика была представлена ФЭС небольшой единичной мощности.

В 2022 г. установленная мощность солнечных электростанций Узбекистана достигала 252 МВт в основном за счет двух системных СЭС мощностью по 100 МВт в Нурабадском и в Карманинском районах

Возобновляемая энергетика Туркменистана

По данным агентства IRENA, в 2022 г. Туркменистан имел установленную мощность ВЭ на основе ГЭС – 2 МВт. Первая из них – Гиндукушская ГЭС была построена в 1903 г. на реке Мургаб (1,2 МВт). В советские годы Туркмения была лидером в СССР по солнечной энергетике. В 1980-е гг. заместитель директора ЭНИН Г. М. Кржижановского – д. ф.- м. н. В. А. Баум организовал в Ашхабаде НПО «Солнце», которое исследовало тепловые, опреснительные, концентрирующие гелиоустановки. В Ашхабаде также работала Туркменская лаборатория фотоэнергетики Всесоюзного НИИтоков (ВНИИТ, руководитель к. ф.- м. н. Б. А. Базаров), в которой под руководством Б. В. Тарнижевского была создана первая в мире концентрирующая фотоэлектрическая установка.

В основе современного развития ВЭ – закон Туркменистана № 334-VI от 13.03.2021 г. «О возобновляемых источниках энергии» и Национальная стратегия развития возобновляемой энергетики до 2030 г., утвержденная Указом Президента Туркменистана № 2007 от 04.12.2020 г. Основной научной организацией является научно-производственный центр «Возобновляемые источники энергии» Государственного энергетического института Туркменистана в г. Мары с лабораториями ФЭП, концентрации солнечной энергии и гелиотехники, биоэнергетики. В энергетическом институте также ведется подготовка бакалавров и магистров по специальности «Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии».

Возобновляемая энергетика Таджикистана

По данным агентства IRENA, в 2022 г. установленная мощность возобновляемой энергетики Таджикистана на основе ГЭС составляла 5274 МВт. В республике работало более 300 МГЭС. Деятельность данного вида энергетики регулировалась законом «Об использовании возобновляемых источников энергии» от 12.01.2010 г. Работала Ассоциация возобновляемой энергетики Таджикистана. Первая ВЭС этого государства мощностью 220 кВт была построена в 2020 г. в Мургабе Горно-Бадахшанской области. ОАО «Системоавтоматика» (Душанбе) разработала и смонтировала десятки ФЭС мощностью до 120 кВт, тепловые гелиоустановки площадью до 1500 м^2. ООО «Технологияхоу Сабз» (с. Балджувон, одноименного района) построило 425 ФЭС, в том числе 300 – для домохозяйств, 50 – для школ и медпунктов, 40 – для солнечных насосных, 35 – для объектов бизнеса, а также 15 – МГЭС. При Таджикском техническом университете им. академика М. С. Осими (Душанбе) работает образовательно-технологический центр по внедрению технологий ВИЭ.

СЭС в Туркмении

Источник: business.com.tm

Возобновляемая энергетика Кыргызстана

По данным агентства IRENA, в 2022 г. установленная мощность ВЭ Кыргызской Республики (КР) составляла 2780 МВт и была представлена в основном гидроэнергетикой. В 2018 г. был принят закон о возобновляемых источниках энергии. В Министерстве энергетики и промышленности Киргизии работал отдел «Возобновляемые источники энергии» и НИИ энергетики и экономики. Исследованиями занимались кафедра ВИЭ Кыргызского государственного университета им. И. Раззахова и Ошский государственный университет. В республике работала Ассоциация возобновляемых источников энергии и Центр развития ВИЭ и энергоэффективности. В г. Бишкеке были построены солнечно-топливные котельные с общей площадью солнечных коллекторов около 1000 м^2, поставлены тысячи солнечных водонагревателей и тепловых насосов, на приобретение которых были предусмотрены налоговые преференции.

Возобновляемая энергетика Молдовы

По данным Минэнерго Республики Молдова (РМ), на 01.01.2024 г. общая установленная мощность ВЭ составляла 343 МВт, в том числе фотоэнергетика 192,4 МВт, ветроэнергетика – 126,8 МВт; гидроэнергетика – 16,7 МВт; биоэнергетика – 6,9 МВт (рис. 14).

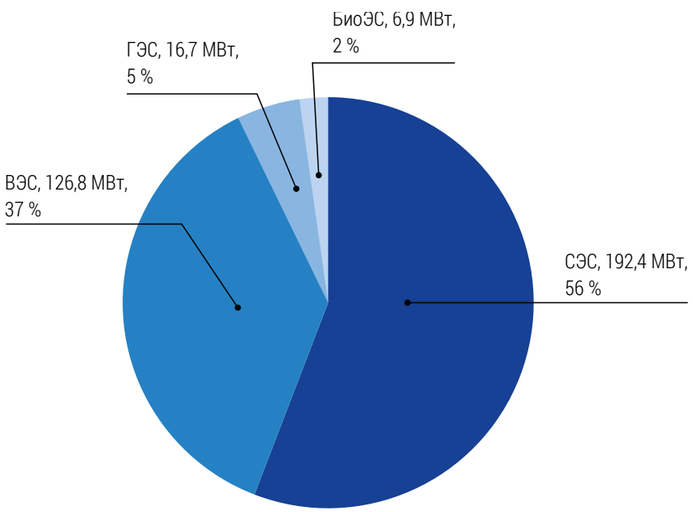
Доля ВЭ в общей структуре установленной мощности энергетики страны в 2023 г. составляла 16,8%. Действует закон № 10 от 26.02.2016 г. «О продвижении энергии из возобновляемых источников энергии» и положение о гарантиях происхождения электрической энергии, произведенной из возобновляемых источников энергии от 28.09.2017 г.

В солнечной энергетике активно развиваются СЭС частных лиц и организаций единичной мощностью до 200 кВт. Из общего значения мощности СЭС – 192,4 МВт, в 2023 г. работали ФЭС 5051 потребителя суммарной мощностью 115,3 МВт при соотношении физических и юридических лиц – 74/26.

Научные школы возобновляемой энергетики

В 2022 г. из всех стран СНГ традиции советских научных школ ВЭ удалось сохранить в основном 3 странам: России, Украине, Узбекистану. Исследования выполняются в академических и образовательных учреждениях. Российские институты работают по всем направлениям ВЭ. Среди стран СНГ они лидируют по фотоэнергетике, геотермальной энергетике, биоэнергетике. На Украине более 30 лет работает институт НАН «Возобновляемые источники энергии», издается специализированный научный журнал. В Узбекистане традиции академических институтов развивает вновь организованное НИИ возобновляемых источников энергии при Минэнерго Узбекистана. Деятельность научных школ стран СНГ не координируется должным образом исполнительным комитетом электроэнергетического совета СНГ. Сотрудничество между национальными академиями наук по ВЭ ограничено личными контактами ученых.

Рис. 14. Диаграмма распределения установленной мощности ВЭ РМ в 2023 г. по данным Минэнерго, всего 343 МВт (100%)



ВЭС, Ставропольский край

Источник: pexels.com

Из научных достижений последних лет следует выделить работы российских ученых (Института вулканологии и сейсмологии РАН) по исследованию геотермальных скважин со сверхкритическими параметрами флюидов, сооружение циркуляционной геотермальной системы теплоснабжения в п. Ханкала г. Грозного (Грозненский нефтяной институт им. Миллионщикова). В области фотоэнергетики на основании фундаментальных работ Санкт-Петербургского ФТИ РАН ГК «Хевел» удалось создать производство замкнутого цикла фотоэлектрических модулей (ФЭМ) в Удмуртии, а в г. Калининграде в 2023 г. завершили сооружение предприятия ЭНКОР по изготовлению кремниевых ФЭМ. Ведущей научной организацией РАН в области создания биотоплив является институт ИВТАН (д. т. н. В. М. Зайченко).

На основании разработок украинского НИИ возобновляемой энергетики НАН удалось создать экономические условия и технические решения по масштабному сооружению фотоэлектрических станций жилых домов и частной коммерческой застройки. Академические и образовательные учреждения Узбекистана разработали единственную в СНГ актуализированную систему нормативных документов по проектированию фотоэлектрических и тепловых солнечных установок.

В основе возобновляемой энергетики Грузии 94 ГЭС большой мощности и 959 микро ГЭС с суммарной мощностью 57 МВт. В 2022 г. работала ВЭС в Гори мощностью 20 МВт и несколько единичных СЭС

Паужетская ГеоЭС

Источник: Wikipedia

Важным показателем научной деятельности являются публикации в международных специализированных журналах. Из 378 международных периодических изданий с публикациями по возобновляемой энергетике [16] наибольшую цитируемость в базе данных Web of Science имели журналы как по комплексу проблем использования ВИЭ: Renewable Sustainable Energy Reviews («Обзор возобновляемой и устойчивой энергетики», Великобритания); так и по ее отдельным видам: Solar Energy («Солнечная энергетика», США); Wind Energy («Ветроэнергетика», Нидерланды); Geothermal Energy («Геотермальная энергетика», ФРГ); Biomass Bioenergy («Биомасса и биоэнергетика», Великобритания). Из указанных журналов в составе редколлегий только в трех первых состоят представители стран СНГ, а публикации ученых весьма редки.

В странах СНГ в 2022 г. специализированные научные журналы по ВИЭ имелись на Украине («Возобновляемая энергетика»), в Узбекистане («Гелиотехника» (Scopus); «Альтернативная энергетика», Карши), в России («Альтернативная энергетика и экология»). В России статьи по ВИЭ за последние 5 лет (610) были опубликованы в 13 журналах [17] и в основном научном журнале содружества «Энергетика». «Известие высших учебных заведений и учреждений СНГ» ежегодно по проблемам ВИЭ публикует до 5 статей. Представительство ученых СНГ в международных профессиональных сообществах по ВИЭ (International Renewable Energy Alliance): ISES (солнечной энергетики); IGA (геотермальной); WWEA (ветроэнергетики); WBA (биоэнергетики) весьма ограничено. Фактически отсутствуют представители России в ассоциациях ISES и IGA.

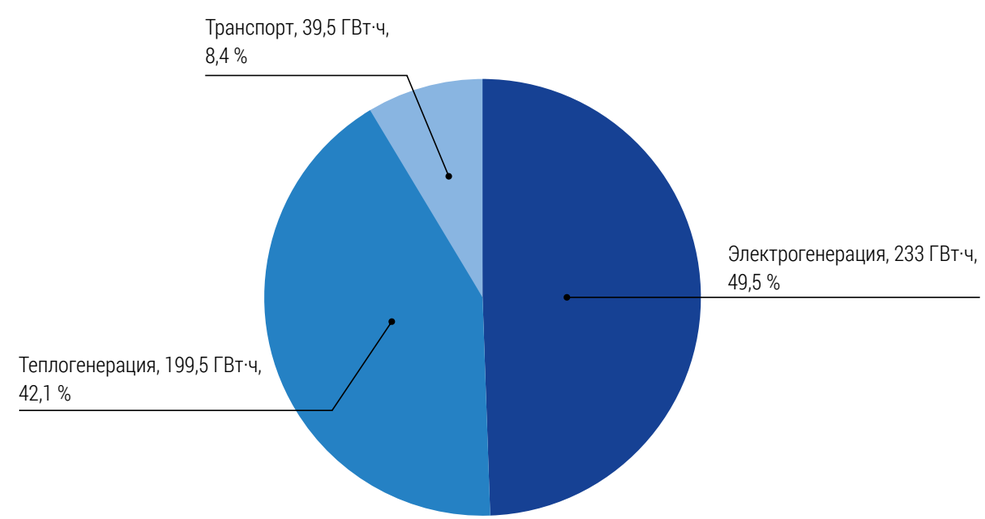
Полноценная подготовка инженерных и научных кадров организована только в России и Узбекистане. В России обучением бакалавров и магистров в 2022 г. занимались 17 вузов с ежегодным выпуском более 400 чел. [18], а в Узбекистане 12 вузов (более 300 чел.). Основными проблемами этой деятельности являются: сложности трудоустройства выпускников, несоответствие международным стандартам, отсутствие координации программ и методик обучения. Интересен опыт МГУ по созданию специализированных программ обучения по ВИЭ для студентов гуманитарных вузов. При обучении по известным зарубежным учебным пособиям в большинстве стран СНГ используют собственные учебники (в России – более 50). Некоторые из них учитывают специфику подготовки по основной специальности, например, нефтяной промышленности, но в большинстве своем представляют компиляцию известных книг. Координация учебно-методической работы по использованию ВИЭ в странах СНГ не осуществляется.

Подготовка научных кадров является важнейшим индикатором перспективности направлений науки. Только в 3 странах СНГ сохранилось обучение аспирантов по научной специальности – «Энергоустановки на основе возобновляемых (альтернативных) видов энергии» [19]. В России в 2022 г. ее содержание было распределено по специальностям 2.4.5 – «Энергетические системы и комплексы»; 4.3.2 – «Энерготехнологии, электрооборудование и электроснабжение агропромышленного комплекса»; 2.1.3 – «Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение». За последние 20 лет по проблемам ВИЭ в РФ были защищены 117 кандидатских и 13 докторских диссертаций [19]. В Узбекистане аналогичная работа осуществляется академическими учреждениями (Физико-технический институт, НПО «Физика – Солнце» АН РУз) и ведущими вузами.

Существенным недостатком деятельности научных школ стран СНГ является низкое качество статистики по возобновляемой энергетике. Правительство РФ Распоряжением № 594-Р от 24.03.2022 г. поручило Министерству энергетики создать такую систему. При адаптации опыта известных международных методик подготовки статистики по ВИЭ особое внимание заслуживает 20-летняя деятельность экспертной группы AGEE – Stat, в ежегодных сборниках [20] которой по методикам ФРГ и Евросоюза приводятся данные по Германии, 28 странам Европы и мира в целом. Обработка отчетов статуправления ФРГ сопровождается научным анализом и согласованием результатов с ведущими специализированными ассоциациями. На основании топливно-энергетического баланса ФРГ по первичному топливу определяется доля энергетики на основе ВИЭ, а затем структура выработки энергии по отдельным видам (рис. 15). Основными видами

По данным агентства IRENA, в 2022 г. установленная мощность возобновляемой энергетики Таджикистана на основе гидроэлектростанций составляла 5274 МВт. В республике работало более 300 МГЭС

Рис. 15. Диаграмма структуры выработки энергии на основе ВИЭ в ФРГ в 2021 г.



энергопотребления являлись электрогенерация (49,5%) и теплогенерация (42,1%).

Во всех странах СНГ в 2023 г. (кроме Беларуси) имелись только данные по электрогенерации. По теплогенерации были известны только экспертные оценки.

Выводы

1. В основе деятельности управления ВЭ России и Казахстана – рыночные принципы, Беларуси – административные, а в Узбекистане, других странах содружества – сочетание административных и рыночных.
2. Источниками финансирования развития ВЭ России и Казахстана в основном являются средства инвесторов, которые погашаются потребителями через государственную тарифную политику. В Беларуси источник финансирования – государственные бюджетные средства, а в Узбекистане – сочетание бюджетных средств и частных инвестиций.

Ушаковская ВЭС

Источник: «Янтарьэнерго»

3. В странах содружества отсутствует полный цикл производства оборудования ВЭ. В России, Казахстане и Узбекистане работали предприятия по добыче и выплавке кремния, производству ФЭМ. В России законодательно закреплено требование по локализации производства оборудования ВЭ и построены соответствующие производства (ФЭМ; ВЭУ).
4. В отличие от других стран содружества в России отсутствует федеральный закон об использовании ВИЭ, а развитие возобновляемой электрогенерации регламентируют поправки и дополнения к закону «Об электроэнергетике». Национальная программа «ДПМ – ВИЭ-2.0» с горизонтом планирования до 2035 г. интегрирована с программами развития безуглеродной экономики и экологии «Чистая энергетика».
5. Сохранены традиции советских научных школ по ВИЭ в России, Узбекистане, Украине. В этих странах созданы коллаборации академических, вузовских организаций и НИИ при министерствах энергетики. Издаются специализированные научные журналы: «Альтернативная энергетика» (РФ), «Возобновляемая энергетика» (Украина), «Гелиотехника» (Узбекистан). Отсутствует координация работы научных учреждений со стороны исполкома электротехнического совета СНГ.
6. Лидерами научного обеспечения возобновляемой энергетики среди стран СНГ является Россия и Узбекистан. При сотрудничестве вузовских организаций практически отсутствует координация между академическими учреждениями. Недостаточно полно научные организации предоставлены в редакциях международных журналов, специализированных ассоциациях.
7. Массовой подготовкой инженерных и научных кадров занимаются РФ и Узбекистан (до 1000 бакалавров и магистров ежегодно), в аспирантурах обучаются более 100 человек. Актуальна синхронизация и актуализация программ обучения, учебно-методических материалов.

Российская сборка солнечных панелей

Источник: russia-reborn.ru

Использованные источники

1. *Международное агентство Irena. URL: www.irena.org. Renewable Energy Capacitu Statistics 2023 mc-cd 8320d4-36al-40ac-83cc-3389-cdn-endpoint.azureedge.net//media/Files/IRENA/Agency/Publication/2023/Mar/IRENA_RE_ Capacity-Statics_2023.pdf.*
2. *IEA, Международное энергетическое агентство. URL: www.iea.gov, energy statistics data tools.*
3. *Международное экспертное сообщество REN21. URL: ren21_2023_jun_global-status-report-energy-supply.pdf*
4. *Системный оператор Единой Энергетической системы РФ. Отчет о функционировании ЕЭС России в 2022 году. URL: www.so.ets.ru.*
5. *Информационный бюллетень АРВЭ «Рынок возобновляемой энергетики России: текущий статус и перспективы развития». – М. Июль, 2022. URL: www.irreda.ru.*
6. *Бутузов В.А. Солнечная теплогенерация в России. Цифры и факты // Энергосбережение. 2023. № 8. С. 42–47.*
7. *Крецков В. Беларусь и стратегия экономии ТЭР. // Энергоэффективность. 2022. № 6. С. 2–5.*
8. *Оганесов И.А., Горустович Т.Г., Королевич Н.Г. О некоторых вопросах развития биогазовых технологий в Республике Беларусь. Энергоэффективность. 2020. № 6. С. 29–32.*
9. *ТОО «Расчетно-финансовый центр по поддержке ВИЭ». URL: www.rfc.Kegoc.kz.*
10. *ШНК 2.04.15.22. Фотоэлектрические станции (системы). Нормы проектирования // Министерство строительства и коммунального хозяйства РУз. Ташкент. 2022.*
11. *Фотоэлектрические станции (системы). Нормы проектирования. ШНК 2.04.15.22 Министерство строительства и коммунального хозяйства. Ташкент. 2022.*
12. *Елистратов В.В., Мухаммандиев М.М. Комплексное использование гидроэнергетических источников Узбекистана в контексте изменения климата // Apllied Solar Energy. 2023. Т. 59. Вып 1. С. 87–94.*
13. *Захидов Р., Кремков М. Ветроэнергетический потенциал Узбекистана // Гелиотехника. 2015. Т. 51. №4. С. 336–337.*
14. *Мирзоев Р.К., Мирзоева С.М. Перспективы развития альтернативной и возобновляемой энергетики в Азербайджане // Вестник наук. 2022. № 11 (56) Т.1. Энергетика и альтернативная энергия. С. 1–11.*
15. *Паникян С.Р. Энергетика Армении: сегодня и завтра // Энергетика за рубежом. 2022. № 4. С. 42–45.*
16. *Маркаров А. Давтян В. Развитие возобновляемой энергетики в Армении: вызовы диверсификации // Геоэкономика энергетики. 2021. № 3 (15).*
17. *Лазарев В.С., Скалабан А.В. Основные мировые научные журналы в помощь в выполнении исследований по проблеме «Возобновляемые источники энергии, местные и вторичные энергоресурсы» // Энергетика. Известие высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. 2016. Т. 59. №5.*
18. *Бутузов В.А. Возобновляемая энергетика России: научно-технические статьи, материалы конференций, диссертации в 2018–2022 гг. // СОК (Сантехника, отопление, вентиляция). 2023. № 9.*
19. *Бутузов В.А., Амерханов Р.А., Григораш О.В. Энергетика на основе возобновляемых источников энергии: подготовка специалистов в российских вузах // Энергосбережение и водоподготовка. 2022. № 3. С. 4–16.*
20. *Бутузов В.А., Амерханов Р.А., Григораш Р.А., Будников Д.А. Российские научные кадры для энергетики на основе ВИЭ // Энергосбережение и водоподготовка. 2022. №3.*
21. *BMWK. Zeitreihen Eneuerbare Energien. URL: https://www.erneuerbare – energien.ole. /EE/ Navigation /DE/ Sepvice / Erneurbare_Energien_in Zahlen / Zeitreihen / Zeitreihen.html (zugegriffen 4. Oktober 2022).*

УДК 338 DOI 10.46920/2409-5516_2024_5196_92 EDN: JPBNGJ

Международное энергетическое сотрудничество и новая концепция внешней политики России

International energy cooperation and the new Foreign Policy Concept of the Russia

Юрий СЕНТЮРИН
Посол по особым поручениям
МИД России, к. п. н.

Yuri SENTYURIN
Ambassador at Large for the Ministry
of Foreign Affairs of the Russian Federation,
Candidate of Sciences in Politics

Надежда ЛЮБОВСКАЯ
Второй секретарь МИД России
E-mail: nmlyubovskaya@mid.ru

Nadezhda LYUBOVSKAYA
Second Secretary for the Ministry
of Foreign Affairs of the Russian Federation
E-mail: nmlyubovskaya@mid.ru

Совет глав государств ШОС *Источник: imghub.ru*

Аннотация. Россия была и остается ответственным и надежным поставщиком энергоресурсов, ключевым участником международного энергетического сотрудничества. Основополагающие подходы по этой теме определены в Концепции внешней политики, Стратегии национальной безопасности, Доктрине энергобезопасности, Энергетической стратегии на период до 2035 г. и иных документах, посвященных конкретным темам. В этом контексте усилия отечественной энергетической дипломатии сфокусированы на пересмотре экспортных приоритетов, обретении технологического суверенитета, отстаивании взвешенных подходов к климатической повестке.
Ключевые слова: энергетика, экология, международное сотрудничество, энергоресурсы, внешняя политика.

Abstract. Russia has been and remains a responsible and reliable supplier of energy resources, a key participant in international energy cooperation. The fundamental approaches on this topic are defined in the Foreign Policy Concept, the National Security Strategy, the Energy Security Doctrine, the Energy Strategy for the period until 2035 and other documents devoted to specific topics. In this context, the efforts of domestic energy diplomacy are focused on revising export priorities, gaining technological sovereignty, and advocating balanced approaches to the climate agenda.
Keywords: energy, ecology, international cooperation, energy resources, foreign policy.

> **ТЭК России играет важнейшую роль в национальном хозяйстве, обеспечивая более 30% ВВП, 50% доходов бюджета и 3 млн рабочих мест**

В настоящее время в мировой энергетике происходит структурная трансформация, спровоцированная шоками 2021–2022 гг., глубинными процессами политико-экономической природы (эрозия системы глобальной безопасности, тенденция милитаризации, повышенная инфляция, ужесточение монетарной политики, односторонние экономические рестрикции, отказ от норм ВТО и международного права), а также долгосрочными трендами – фрагментация рынков, в первую очередь энергетических, формирование многополярного мира, дедолларизация при увеличении роли национальных валют.

Российская энергетическая отрасль достойно справляется с возникающими вызовами, функционирует устойчиво, производственные показатели стабилизированы, по ряду из них отмечается качественный рост [1].

ТЭК сохраняет за собой важнейшую роль в национальном хозяйстве, доля которого достигает более 30% ВВП и более 50% доходов бюджета. Отрасль обеспечивает более 3 млн высокотехнологичных рабочих мест [2]. В основе этого – прочный фундамент, который был сформирован в отраслях ТЭК за последние годы. Он позволяет максимально эффективно нивелировать последствия санкций и, несмотря на трансформацию мировых энергетических рынков, продолжать развитие.

Российская Федерация была и остается ответственным и надежным поставщиком энергоресурсов, ключевым участником международного энергетического сотрудничества.

Основополагающие подходы по этой теме определены в Концепции внешней политики, Стратегии национальной безопасности, Доктрине энергобезопасности, Энергетической стратегии на период до 2035 г. и иных документах, посвященных конкретным темам (например, Концепция взаимодействия Российской Федерации с форумом стран – экспортеров газа).

В условиях беспрецедентного санкционного давления и «разворота на Восток»

31 марта 2023 г. вышла новая редакция Концепции внешней политики [3]. Содержание документа в редакции 2016 г. при сохранении основополагающих целей, задач, принципов и механизмов переработано сообразно переосмыслению подходов к работе на внешнем контуре с учетом всей полноты факторов и тенденций развития международных отношений. Несмотря на схожесть по форме с предыдущим, по духу новый документ принципиально иной [4].

В концепции закрепляется открытость России международному сотрудничеству, приоритетное внимание уделено работе по укреплению суверенитета, повышению роли нашей страны в решении мировых проблем, расширению связей с конструктивно настроенными странами, формированию условий для отказа недружественных государств от враждебной политики по отношению к России и выходу на более справедливое, многополярное мироустройство.

Новый концептуальный момент – внедрение дифференцированного подхода к развитию связей с иностранными государствами в зависимости от характера их политического курса в отношении России, степени уважения наших интересов.

Основные возможности для конструктивного международного сотрудничества связываются со странами за пределами региона Евро-Атлантики. Именно государства глобального Юга и глобального Востока призваны внести определяющий вклад в развитие мировой экономики, создание более сбалансированного и демократичного миропорядка.

Роль флагманского внешнеполитического проекта закреплена за большим евразийским партнерством (БЕП), задача

Новый концептуальный момент – внедрение дифференцированного подхода к развитию связей с иностранными государствами в зависимости от характера их политического курса в отношении России

Газопровод «Сила Сибири»
Источник: imghub.ru

по формированию которого закреплена в Стратегических направлениях развития евразийской экономической интеграции до 2025 г., утвержденных на заседании высшего евразийского экономического совета 11 декабря 2020 г.

«Выстраивание сотрудничества по линии большого евразийского партнерства, инициативу создания которого мы выдвинули несколько лет назад – это еще один наш магистральный внешнеполитический проект», – подчеркнул Президент Российской Федерации В. В. Путин 4 декабря 2023 г. в ходе церемонии вручения верительных грамот послам иностранных государств [5].

Центральная роль в БЕП отводится Евразийскому экономическому союзу (ЕАЭС), предусматриваются конкретные шаги с его стороны по сопряжению с инициативой «Один пояс – один путь», укрепление партнерства с Шанхайской организацией сотрудничества (ШОС) и Ассоциацией государств Юго-Восточной Азии (АСЕАН), установление диалога с международными организациями и объединениями и государствами Азии и Европы [6].

БЕП – открытый интеграционный контур для всех государств и объединений Евразии. В этом контексте многоформатного всеобъемлющего сотрудничества, которое охватывает все сферы экономической и социальной жизни, концепция единого евразийского энергопространства может стать одной из скреп этого стратегического замысла.

Евразийская объединительная повестка вокруг энергетики предопределена экономическими, географическими, природными и социальными факторами с опорой на ключевые параметры [7]:

1. Обеспечение безопасного и устойчивого доступа к современным источникам энергии в целях содействия развитию и прогрессу, искоренению энергетической бедности по большей части за счет формирования открытых, экономически обоснованных и недискриминационных общих энергорынков.
2. Применение механизма «проектов общего интереса», что подразумевает совместную реализацию проектов и достижение синергии за счет раскрытия потенциала имеющихся ресурсов.
3. Устойчивый курс на ресурсный, технологический, интеллектуальный и финансовый суверенитет. Принципиально важно сохранить самостоятельность и состоятельность государств партнерства в указанных сферах, сохранить весь регион вне влияния неоколониальных амбиций коллективного Запада.
4. В интересах всех стран Евразии приоритетны сбалансированные подходы к декарбонизации с акцентом на опережающее развитие технологий и низкоуглеродную энергетику.
5. Формирование согласованных подходов к климатической повестке в интересах континента.

В настоящее время работа по формированию общих энергорынков, созданию условий для реализации кооперационных проектов в сфере энергетики и климата уже ведется на площадке ЕАЭС. Запущены механизмы сближения национальных систем валидации и верификации климатических проектов, выработки комплексных мер стимулирования низкоуглеродного развития, а также создания инструментов совместного реагирования на навязываемые барьеры, связанные с климатическим регулированием и односторонними рестрикциями. Это направление международного сотрудничества представляется исключительно перспективным и стратегически значимым.

Недружественная политика западных стран в отношении России как надежного поставщика доступных и «удобных» энергоресурсов с тем, чтобы снизить до ми-

«ЛУКОЙЛ Карачаганак» *Источник: kmg.kz*

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ПОЛИТИКА №5(196) / 2024

Усилия энергетической дипломатии России сфокусированы на пересмотре экспортных приоритетов, технологическом суверенитете, отстаивании взвешенных подходов к климатической повестке

нимума доходность российского ТЭК, сохраняя при этом устойчивость поставок, не достигла своей цели. Отечественные энергокомпании оперативно среагировали, переориентировав свой экспорт на страны ближнего зарубежья, большую Евразию, страны глобального Юга и Востока, которые обладают значимым и перспективным потенциалом (рис. 1, 2).

Текущая ситуация рассматривается в качестве точки роста для российского ТЭК и всей системы внешнеэкономических отношений.

При этом в качестве ключевых приоритетов энергетической политики России определены:

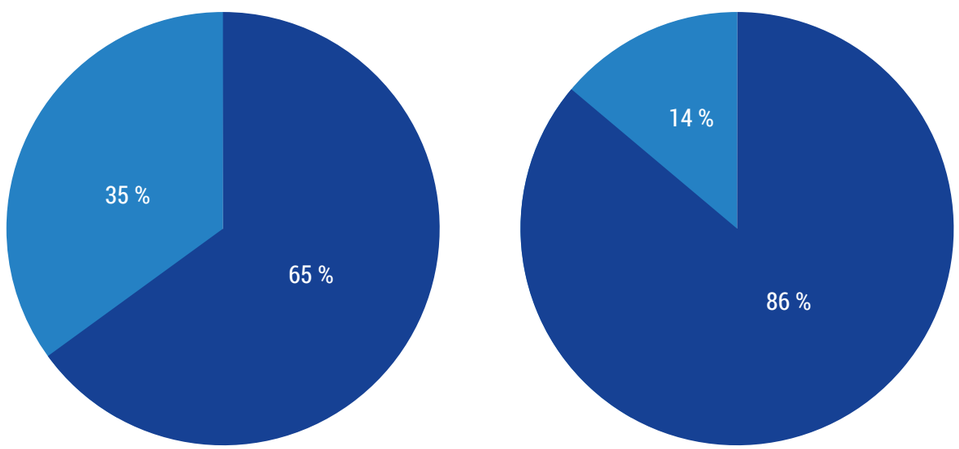
– надежное снабжение доступными энергоресурсами внутреннего рынка, то есть удовлетворение потребностей наших граждан, промышленности, бизнеса, социальных объектов;
– сохранение и приумножение экспортного потенциала и лидерских позиций на мировом рынке энергоресурсов [8]. Исходим из того, что для успешной реализации этих задач необходимы совместные усилия государства, бизнеса, и научного сообщества.

Важно отметить, что российские энергокомпании адаптируют производственные процессы с учетом экологических требований и тенденций. На современном этапе российская энергетика – одна из наиболее экологичных в мире: 87% электроэнергии производится на основе чистых источников [9]; планомерно развивается водородная энергетика и ВИЭ.

Комплексная работа по снижению углеродного следа в ТЭК по всей производственной цепочке, переходу на «чистые» и низкоэмиссионные технологии, реализации климатических проектов ведется непосредственно экономическими операторами, а также в рамках

Рис. 1. Экспорт нефти и нефтепродуктов – изменение географии поставок

Источник: Институт энергетики и финансов по материалам ФТС России, Минэнерго России, 2023 г.



Структура экспорта на февраль 2022 г.
8,2 млн барр./сут.

Структура экспорта на февраль 2023 г.
8 млн барр./сут.

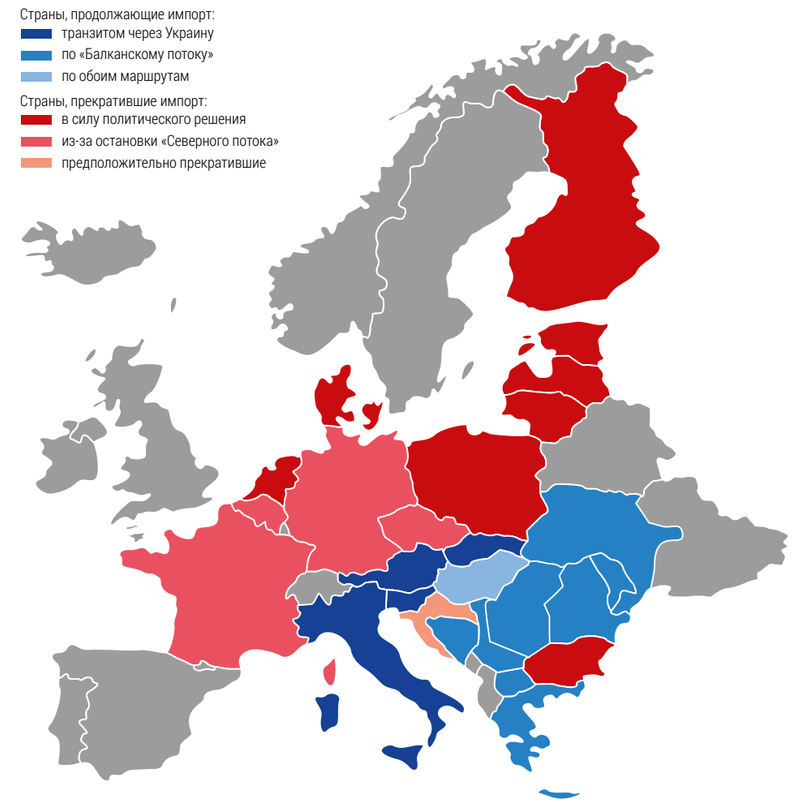


Рис. 2. Поставки трубопроводного газа в страны Европы по состоянию на начало 2023 г.

Источник: Институт энергетики и финансов

гармонизации национальных подходов к климатической повестке с дружественными странами и в контуре межгосударственных объединений.

Цель этой работы – развитие национального рынка углеродных единиц и уверенный выход на международно-климатическую арену.

Выводы

1. Россия была и остается одним из ключевых игроков на мировых энергорынках, надежным и ответственным поставщиком доступных и экологичных источников энергии высокого качества; настроена и открыта к конструктивному сотрудничеству на основе норм международного права.
2. События 2022–2023 гг. со всей очевидностью показали, что заместить российские энергоресурсы, в частности, на европейском направлении, весьма проблематично и экономически нецелесообразно.
3. На фоне геополитической напряженности российский ТЭК противостоит беспрецедентным вызовам. Речь идет о политически мотивированных нарушениях норм международного права и ВТО, попытках внедрения антирыночных «санкционных» механизмов, создания рынка покупателей за счет слома сформированной системы отношений, ограничения суверенитета на природные ресурсы и перераспределения доходов, но при этом демонстрирует высокую степень устойчивости, спо-

Заседание ASEAN

Источник: triptonkosti.ru

собность пройти через глубокую трансформацию производственных и логистических процессов без критических изменений и системных сбоев.

4. В контексте всего вышесказанного, усилия отечественной энергетической дипломатии сфокусированы на пересмотре экспортных приоритетов, обретении технологического суверенитета, отстаивании взвешенных подходов к климатической повестке. Конечная цель – стабилизация энергорынка, поддержание высокой стрессоустойчивости отечественного ТЭК, обеспечение необходимых отраслевых инвестиций и сохранение предложения энергоресурсов нашим партнерам.
5. С учетом текущей динамики прогнозируется высокая волатильность на энергорынках как следствие нарастающей глобальной конкуренции за рынки и ресурсы, разрушения архитектуры энергобезопасности, использования «зеленой повестки» в качестве инструмента этой борьбы, обострения конфликтов с участием стран – экспортеров углеводородов.

Использованные источники

1. *Выступление заместителя Председателя Правительства Российской Федерации А. В. Новака в Совете Федерации Федерального Собрания Российской Федерации 22 ноября 2023 г. [Электронный ресурс]. – URL: http://council.gov.ru/events/multimedia/video/261412/*
2. *Выступление заместителя Председателя Правительства Российской Федерации А. В. Новака на Дне энергетики в рамках международной выставки-форума «Россия» на ВДНХ 27 января 2024 г. [Электронный ресурс]. – URL: http://government.ru/news/50727/*
3. *Концепция внешней политики Российской Федерации [Текст]: утв. Указом Президента Российской Федерации от 31.03.2023 г. № 229.*
4. *Лебедева О.В., Бобров А. К. Концепция внешней политики России 2023 г.: стратегия многополярного мира [Электронный ресурс] // РСМД. 02.05.2023.*
5. *Выступление В. В. Путина на церемонии вручения верительных грамот 4 декабря 2023 г. [Электронный ресурс]. – URL: http://www.kremlin.ru/events/president/news/7290*
6. *О российской инициативе большого евразийского партнерства [Электронный ресурс] // МИД России. 15.06.2023. – URL: https://www.mid.ru/tv/?id=1767070&lang=ru&ysclid=lt2mkcdjel339296540*
7. *Конопляник А. А. Великий перелом в мировой энергетике [Текст] // Эксперт. 2023. № 4. С. 54–55.*
8. *Выступление заместителя Председателя Правительства Российской Федерации А. В. Новака в Совете Федерации Федерального Собрания Российской Федерации 22 ноября 2023 г. [Электронный ресурс]. – URL: http://council.gov.ru/events/multimedia/video/261412/*
9. *Выступление заместителя Председателя Правительства Российской Федерации А. В. Новака на Дне энергетики в рамках международной выставки-форума «Россия» на ВДНХ 27 января 2024 г. [Электронный ресурс]. – URL: http://government.ru/news/50727/*

РЭН 2024
РОСКОНГРЕСС
Пространство доверия
МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРГЕТИКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ПРАВИТЕЛЬСТВО МОСКВЫ

26-28 сентября ЦВЗ «Манеж», Манежная пл., д.1

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ФОРУМ
РОССИЙСКАЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ НЕДЕЛЯ

НОВЫЙ ФОРМАТ
ВЫСТАВКА ОБОРУДОВАНИЯ И ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ТЭК
Гостиный двор, ул.Ильинка, д.4

www.rusenergyweek.com
Реклама 6+

РЭА
МИНЭНЕРГО РОССИИ

ВАЛИДАЦИЯ И ВЕРИФИКАЦИЯ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ

КОМУ ОКАЗЫВАЮТСЯ УСЛУГИ

1. Организациям ТЭК с выбросами парниковых газов более 150 тыс. т CO_2-экв.
2. Предприятиям ТЭК, реализующим климатические проекты.

РЕЗУЛЬТАТ

Заключение и отчет о рассмотрении заявлений о выбросах парниковых газов (подготовленные в установленном законодательством порядке).

Телефон:
+7(495) 789-92-92

E-mail:
info@rosenergo.gov.ru

Адрес (юридический):
127083, г. Москва, ул. 8 Марта, д. 12

Адрес места осуществления деятельности:
140014, Московская область, г. Люберцы, ул. Электрификации, д. 26 (кабинет 51)

Реклама 12+

5-Я ЮБИЛЕЙНАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА И ФОРУМ

RENWEX

«Энергосбережение, зеленая энергетика и электротранспорт»

18–20 ИЮНЯ 2024

Россия, Москва, ЦВК «ЭКСПОЦЕНТР»

КЛЮЧЕВЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ

- Ветроэнергетика
- Солнечная энергетика
- Электротранспорт и зарядная инфраструктура
- Водородная энергетика
- Гидроэнергетика
- Биоэнергетика, биогаз и твердое биотопливо
- Микрогенерация
- Энерго- и ресурсосберегающие технологии

Реклама 12+

www.renwex.ru

Организатор
65 ЭКСПОЦЕНТР

Под патронатом

МЕЖДУНАРОДНАЯ
ВЫСТАВКА-
ФОРУМ

РОССИЯ

ЭНЕРГИЯ
ЖИЗНИ

МОСКВА, ВДНХ
04.11.2023 – 08.07.2024
RUSSIA.RU

Реклама 6+

ISSN 2409-5516

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ПОЛИТИКА

ОБЩЕСТВЕННО-ДЕЛОВОЙ
НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

РГАСНТИ 44.09.29

БОЛЬШЕ ИНТЕРЕСНЫХ
НОВОСТЕЙ И АНАЛИТИКИ
В НАШЕМ ТЕЛЕГРАМ-КАНАЛЕ

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

16+ РЕКЛАМА

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ПОЛИТИКА

Оформить подписку на журнал «Энергетическая политика» на 2024 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 13 200 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

СУЭК Сибирская угольная энергетическая компания
Газпром нефть Стремимся к большему!
Акционерное общество Зарубежнефть
Транснефть
Благотворительный фонд Tatneft
Россети

ISSN 2409-5516

Источник фото на обложке:
Windmills / depositphotos.com