

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ПОЛИТИКА

ISSN 2409-5516

ОБЩЕСТВЕННО-ДЕЛОВОЙ
НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

№9(200), сентябрь 2024

РГАСНТИ 44.09.29



Тема номера

**ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА: ПЕРСПЕКТИВЫ,
ТРЕНДЫ И НОВЫЕ МОДЕЛИ РАЗВИТИЯ**

Энергетика вчерашнего и завтрашнего дня: контуры долгосрочного развития

Energy of yesterday and tomorrow: contours of long-term development

Юрий ПЛАКИТКИН

Руководитель Центра анализа и инноваций в энергетике Института энергетических исследований РАН, профессор, д. э. н., академик Российской академии естественных наук
E-mail: uplak@mail.ru

Yuri PLAKITKIN

Head of the Center for Analysis and Innovation in Energy at the Institute of Energy Research of the Russian Academy of Sciences, Professor, Doctor of Economics, Academician of the Russian Academy of Natural Sciences
E-mail: uplak@mail.ru

Людмила ПЛАКИТКИНА

Руководитель Центра исследования угольной промышленности мира и России Института энергетических исследований РАН, к. т. н., член-корр. Российской академии естественных наук
E-mail: luplak@rambler.ru

Lyudmila PLAKITKINA

Head of the Center for the Study of the Coal Industry of the World and Russia at the Institute of Energy Research of the Russian Academy of Sciences, Ph.D., Corresponding member. The Russian Academy of Natural Sciences
E-mail: luplak@rambler.ru

Константин ДЬЯЧЕНКО

Старший научный сотрудник Центра исследования угольной промышленности мира и России Института энергетических исследований РАН

Konstantin DYACHENKO

Senior Researcher at the Center for the Study of the Coal Industry of the World and Russia at the Institute of Energy Research of the Russian Academy of Sciences

Густонаселенный район Соуэто, Южная Африка

Источник: atosan / depositphotos.com



Аннотация. В статье приведены результаты исследования глобальных трансформаций современного периода (демографических, технологических, энергетических), влияющих на развитие мировой и отечественной энергетики. Приведена характеристика мирового демографического развития. Показана его связь с мировым инновационно-технологическим процессом, исследованным по потоку мировых патентных заявок. Приведена взаимосвязь энергетического перехода с демографическим и технологическим переходами. Представлены закономерности повышения плотности энергии применяемых энергоисточников и ее влияния на производительность труда и скорость перемещения людей и грузов в экономике. Приведен контур будущего развития энергетических технологий. *Ключевые слова:* мировые трансформации; демографический, технологический и энергетический переходы; мировые патентные заявки; плотность энергии; закономерности развития; прогнозный контур развития энергетики.

Abstract. The article presents the results of a study of the global transformations of the modern period (demographic, technological, energy) affecting the development of global and domestic energy. The characteristics of global demographic development are given. Its connection with the global innovation and technological process, studied by the flow of global patent applications, is shown. The interrelation of the energy transition with demographic and technological transitions is given. The patterns of increasing the energy density of the energy sources used and its impact on labor productivity and the speed of movement of people and goods in the economy are presented. The outline of the future development of energy technologies is given. *Keywords:* global transformations; demographic, technological and energy transitions; global patent applications; energy density; patterns of development; forecast contour of energy development.

“

Будущее мировое развитие находится под влиянием 4-х трансформаций: демографической, энергетической, технологической и политической

Базовый характер энергетики в развитии экономики стран БРИКС формирует образ будущего, который должен учитываться правительствами этих стран для удовлетворения текущих и будущих потребностей своего населения. Образно говоря, для движения по дороге в завтрашний день необходимо смотреть не только себе под ноги, чтобы не упасть, а еще и вдаль, что-

бы не ошибиться с выбором дальнейшего направления этого движения. В конечном итоге, тот, кто умеет формировать правдоподобный образ долгосрочного будущего, делает меньше ошибок в настоящем.

Энергетика — это наука, и как каждая наука, она имеет свои законы и закономерности развития, игнорирование которых может привести в будущем к негативным последствиям. Это определяет необходимость с научных позиций «заглянуть за горизонт» далекого будущего развития энергетики.

Главные глобальные трансформации мирового развития

Будущее мировое развитие находится под воздействием четырех глобальных трансформаций, проявление которых мы ощущаем уже на современном этапе: демографической, энергетической, технологической и экономико-политической. Все эти трансформации так или иначе «выбивают» традиционную энергетику из хозяйственного оборота мировой экономики и приводят к росту применения альтернативных источников энергии.

По всей видимости, самой главной глобальной трансформацией является демографическая [1, 2]. Она связана с изменением численности населения мира. Примерно к началу 90-х гг. XX в. прекратилось увеличение прироста численности населения мира (рис. 1).

Этот прирост стабилизировался на уровне 80–90 млн чел., а в период 2010–2015 гг. он стал быстро снижаться. Так, уже в 2023 г. прирост численности уменьшился в 1,5 раза и достиг вели-

ченность населения мира выйдет на стабильный уровень, примерно, равный 9 млрд чел. Дальнейший ее рост, вероятно, не превысит 10 млрд чел., а в последующие периоды численность населения мира, по нашим расчетам, может даже снизиться.

Под воздействием демографического перехода в настоящее время стал осуществляться энергетический переход. При стабилизации численности населения мира и росте энергоэффективности миро-

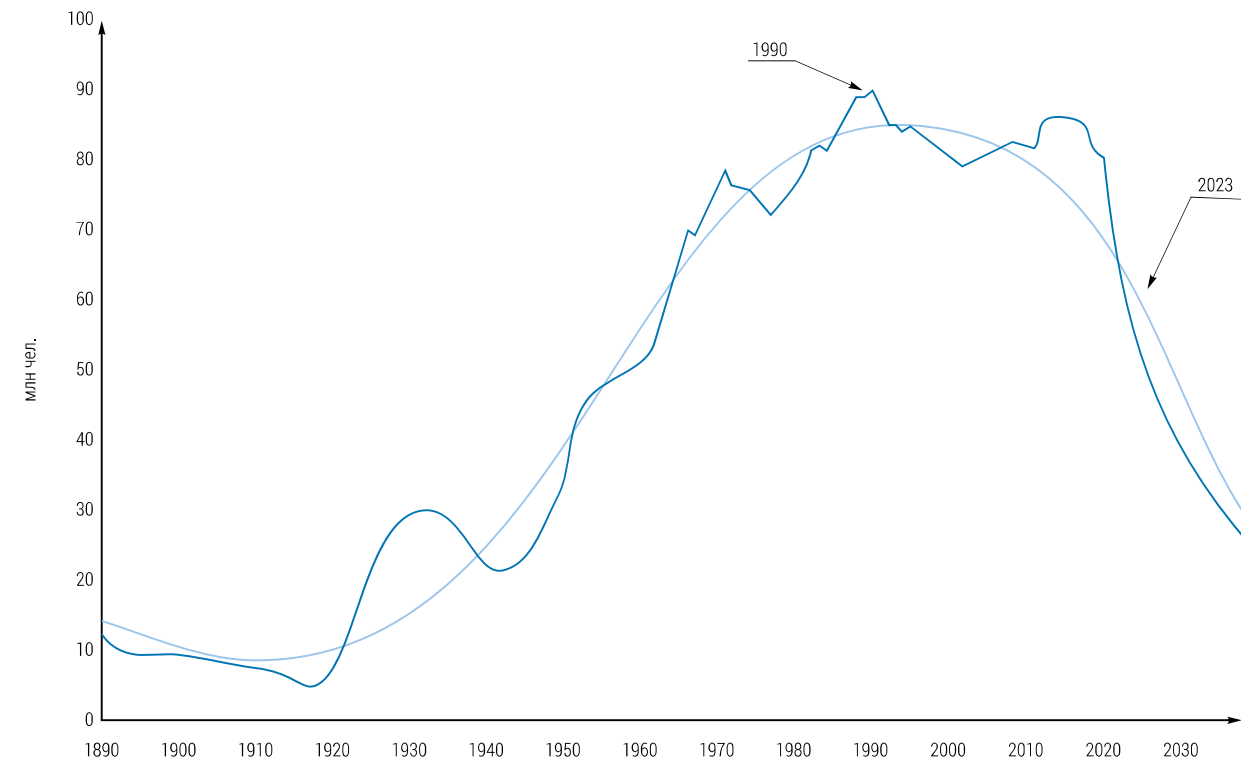


Рис. 1. Динамика годового прироста численности населения мира

Источники: World bank, ИНЭИ РАН

ны 60 млн чел. Многие аналитики стали утверждать о вхождении цивилизации в глобальный демографический переход, связывая его с будущей стабилизацией или даже с возможным падением численности населения мира. Для уточнения ее значений в перспективном периоде авторами статьи был выполнен нейросетевой прогноз динамики численности в XXI в. (рис. 2).

Как показали расчеты, вопреки мнению многих аналитиков, ожидающих рост численности населения мира в XXI в., она в перспективном периоде, по всей видимости, расти не будет. В XXI в. чис-

вой экономики объемы использования в ней энергии, по всей вероятности, будут снижаться. Об этом свидетельствуют и результаты проведенного нами нейросетевого прогноза потребления энергии в XXI в. Вопреки мнению ряда экспертов, потребление энергии в перспективном периоде не только не будет расти, а наоборот: на рубеже 2050–2070 гг. достигнет стабилизации, после которой станет осуществляться ее системное снижение (рис. 3).

На такое снижение указывают долговременные тренды падения потребления энергии в развитых странах мира.

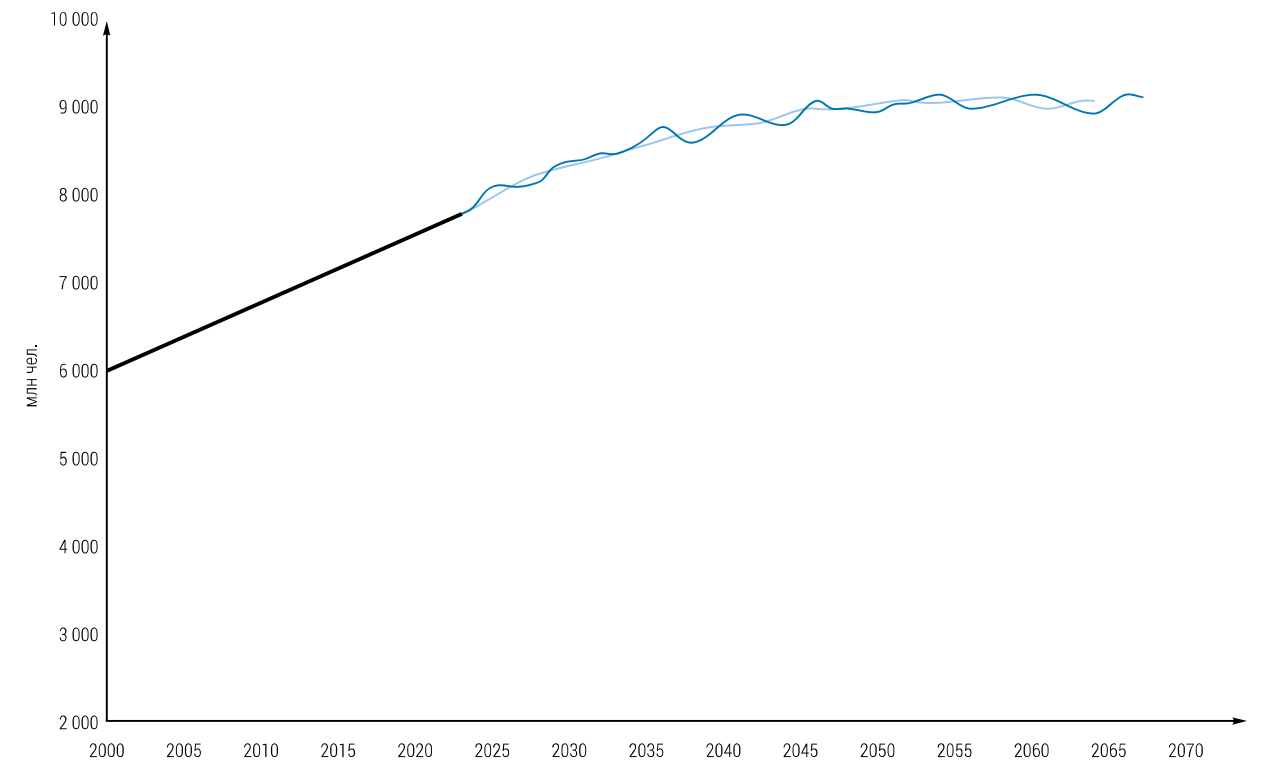


Рис. 2. Результаты нейросетевого прогноза коридора численности населения мира (млн чел.)

Источники: World bank, ИНЭИ РАН

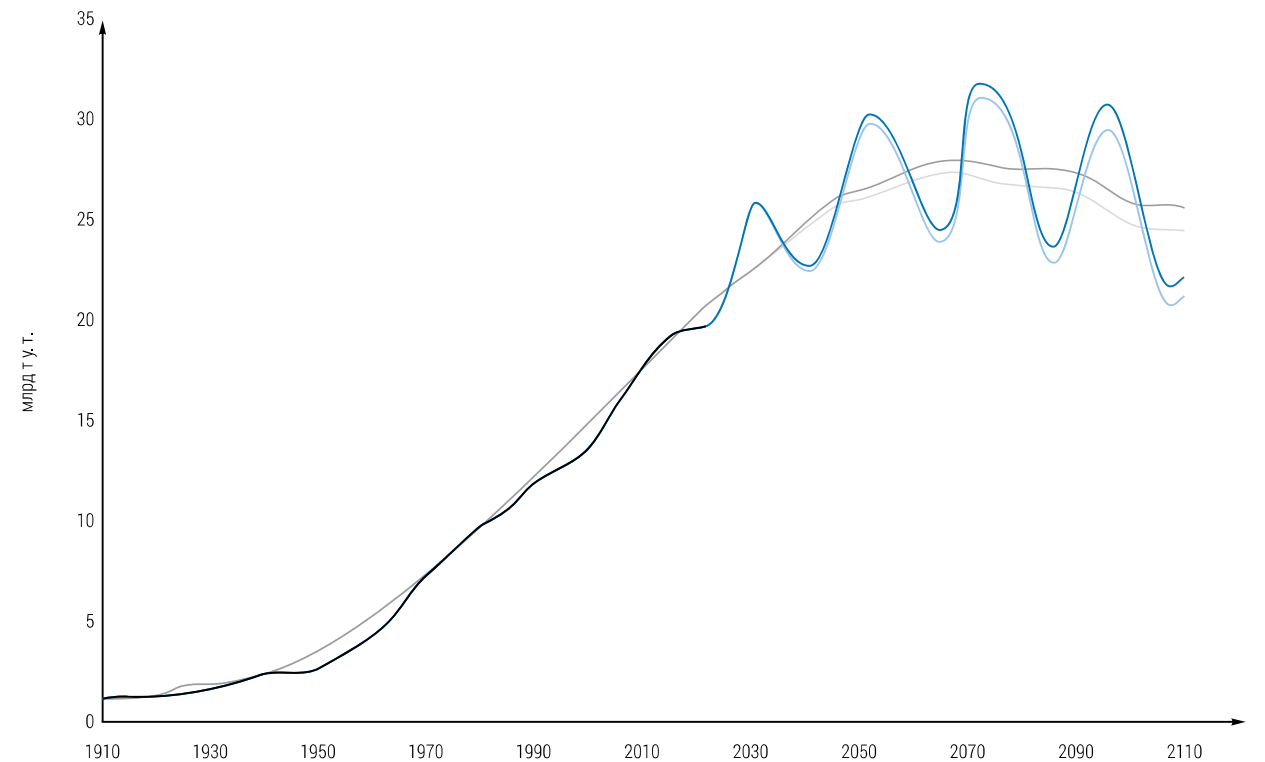


Рис. 3. Результаты нейросетевого прогноза коридора мирового потребления энергии (млрд т у. т.)

Источники: ВР, ИНЭИ РАН

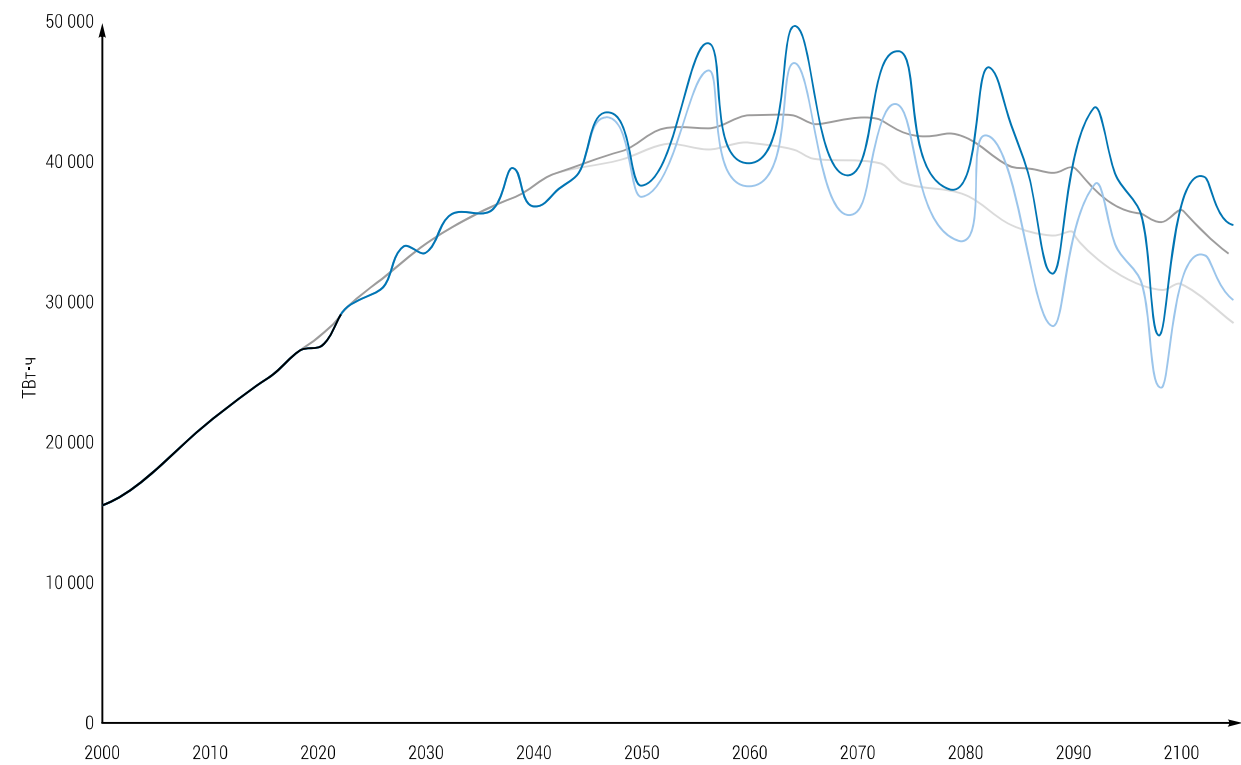


Рис. 4. Результаты нейросетевого прогноза коридора мировых объемов генерирования электроэнергии (Terawatt-hours) Источники: ВР, ИНЭИ РАН

Энергопереход в нейросетевом прогнозе будущего потребления энергоресурсов

Анализ тенденций предшествующего периода дает фактически однозначное понимание того, что на протяжении более 20 лет в мировой энергетике системно формировался энергетический переход. Его точкой отсчета можно считать период 2013–2014 гг., когда доля невозобновляемых источников энергии в мире и развивающихся странах стала уменьшаться. Отметим, что именно в этот период начали меняться тенденции и в мировом демографическом развитии. Из относительно стабильного годового прироста численности населения мира стал осуществляться переход к его снижению (см. рис. 1). Фактически, демографический переход «спровоцировал» переход к новой возобновляемой энергетике, что в прогнозном периоде приведет к стабилизации и последующему снижению потребления энергии (см. рис. 3). Однако этот процесс перехода затронет не только общее потребление энергии,

но, вероятно, и объемы генерирования электроэнергии. Дело в том, что объемы генерирования электроэнергии развитыми странами на протяжении последнего 22-летнего периода вышли на стабилизационный уровень. Более того, в этот период во многих странах Европы объемы постепенно снижались. Рост мировой генерации электроэнергии происходил в основном за счет ее высоких темпов в развивающихся странах. Однако наметившиеся структурные трансформации в мировой динамике объемов генерирования электроэнергии фактически пре-

В XXI в. численность населения мира выйдет на уровень в 9 млрд чел. В дальнейшем она не превысит 10 млрд чел., а в будущем численность населения мира может даже снизиться

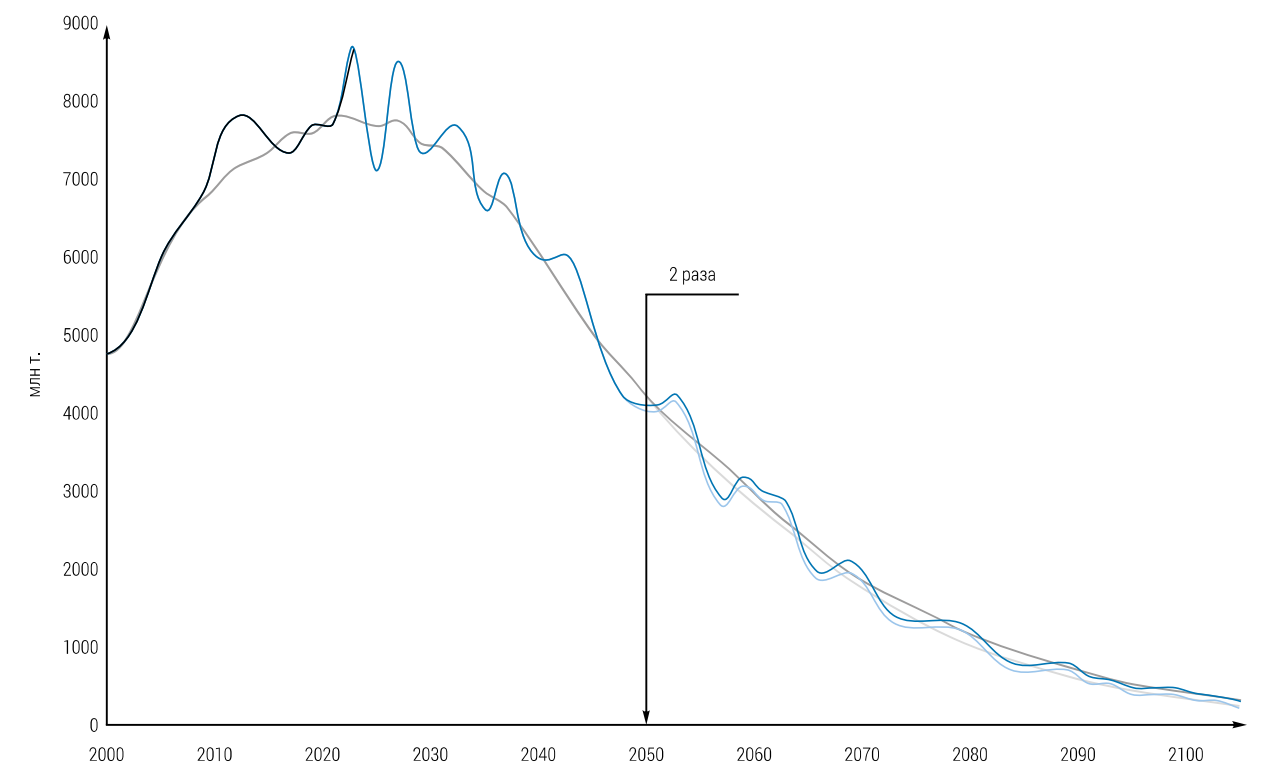
Демографический переход «спровоцировал» переход к новой возобновляемой энергетике, что в прогнозном периоде приведет к стабилизации и последующему снижению потребления энергии

допределяют для развивающихся стран их стабилизацию в прогнозном периоде. На основе проведенного авторами статьи нейросетевого прогнозирования мировых объемов генерирования электроэнергии установлено, что примерно в 2060–2080 гг. рост этих объемов прекратится и выйдет на стабилизационный уровень (рис. 4).

По всей видимости, к этому периоду развивающиеся страны повторяют тренд развитых стран, реализованный в 2000–2022 гг. За пределами 70-х гг. XXI в. объемы генерирования электроэнергии в це-

лом, вероятнее всего, будут сокращаться. Конечно, это выглядит немного парадоксальным, ведь к середине века должна значительно увеличиться глубина электрификации быта и всех видов транспорта. Кроме того, рост интеллектуализации приведет к существенному увеличению применения сверхмощной вычислительной техники, требующей электроэнергии. Да, это так. Однако в указанном периоде параллельно будут активно развиваться процессы, основанные на применении квантовых технологий и фотоники. Последние существенным образом повысят энергоэффективность во всех секторах экономики. Кроме того, появятся более энергоэффективные новые области промышленности и экономики. В предстоящем периоде стабилизация и дальнейшее снижение потребления энергии и даже электроэнергии будут сопровождаться падением мирового потребления традиционных энергоресурсов. Так, в соответствии с результатами нейросетевого прогноза, мировая добыча угля уже примерно к середине века, по всей вероятности, сократится в 2 раза, а к концу века фактически выйдет на нулевые отметки (рис. 5).

Рис. 5. Результаты нейросетевого прогноза коридора мировых объемов добычи угля (млн т) Источники: ВР, ИНЭИ РАН



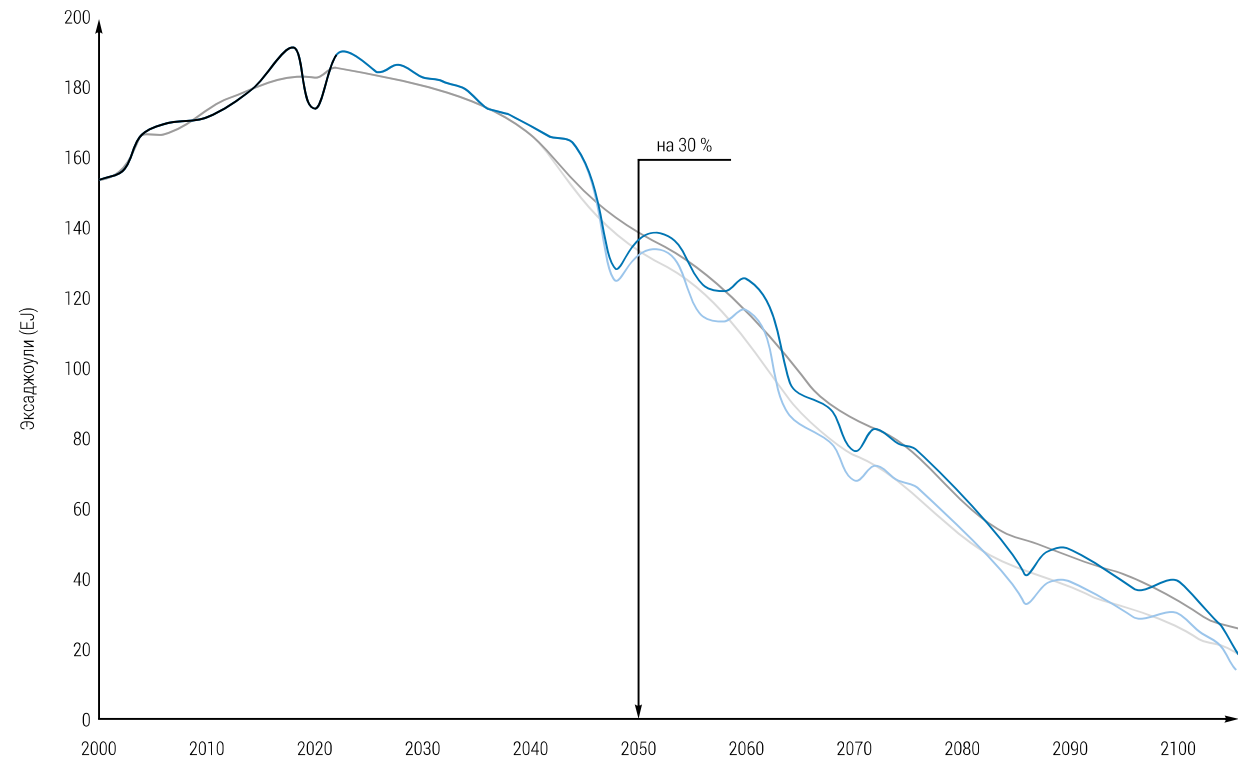


Рис. 6. Результаты нейросетевого прогноза коридора мировых объемов потребления нефти (Exajoules) Источники: ВР, ИНЭИ РАН

Примерно такие же тенденции (с небольшим отличием) характерны и для мирового потребления нефти. Так, если стабилизационный период мировой добычи угля будет длиться примерно до 2025–2030 гг., то подобная фаза для потребления нефти продолжится до 2030–2035 гг. (рис. 6).

В середине века потребление нефти, вероятнее всего, снизится на 30%, а к концу века будет очень близко к нулевым отметкам. Пожалуй, только мировое потребление газа будет обладать более продолжительной стабилизационной фазой (рис. 7).

В 70-х гг. XXI в. будут активно развиваться процессы, основанные на применении квантовых технологий и фотоники, что существенно повысит энергоэффективность во всех секторах экономики

В период 2030–2035 гг. его потребление достигнет наибольшего значения и будет находиться на стабилизационном уровне примерно до 2040 г. За пределами этого срока возможно системное снижение спроса на газ. В конце XXI в. его потребление, по видимости, может составлять всего 20% от максимально достигнутого уровня.

Снижение потребления традиционных энергоисточников будет ускоренным образом замещаться альтернативными источниками энергии. Так, в соответствии с результатами выполненного нами нейросетевого прогноза мировое потребление энергии ВИЭ к середине XXI в. увеличится в 4–6 раз (рис. 8).

Удешевление технологий ВИЭ, а также возможность их комбинирования с накопителями энергии и интеграции в общую энергосистему традиционной энергетики значительно увеличивают их долю в мировом топливно-энергетическом балансе. Наряду с этим, после периода «охлаждения» (2010–2020 гг.) к использованию ядерной генерации, стало вновь возрождаться понимание ее важности в развитии будущей мировой энергетики.

В соответствии с результатами нейросетевого прогноза, объемы мирового по-

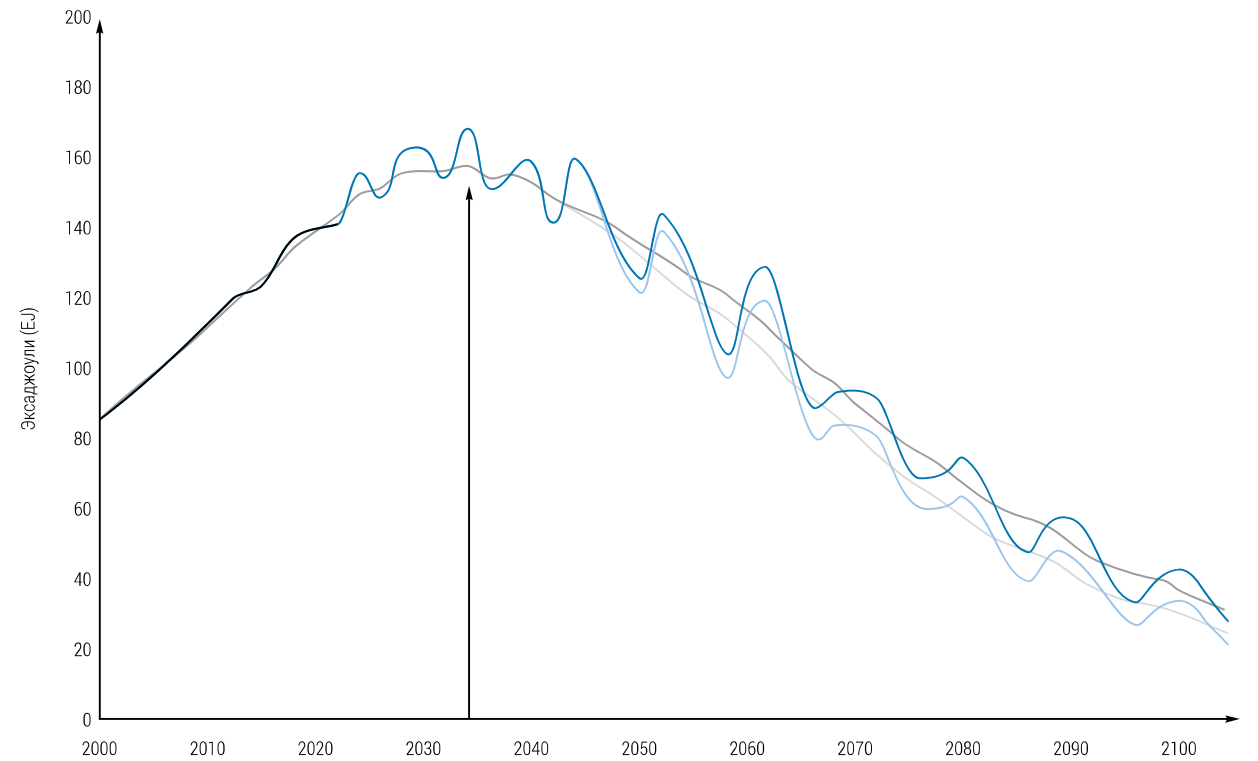


Рис. 7. Результаты нейросетевого прогноза коридора мировых объемов потребления газа (Exajoules) Источники: ВР, ИНЭИ РАН

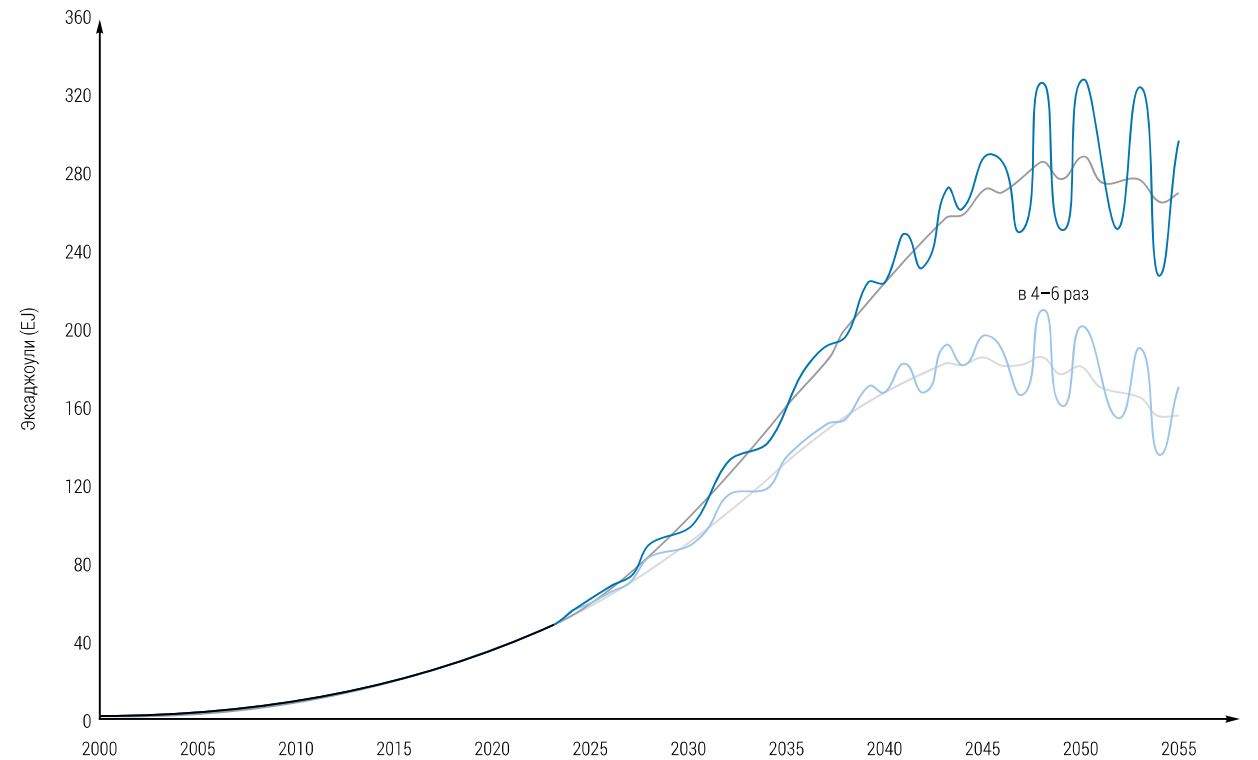


Рис. 8. Результаты нейросетевого прогноза коридора мирового потребления энергии ВИЭ (Exajoules) Источники: ВР, ИНЭИ РАН

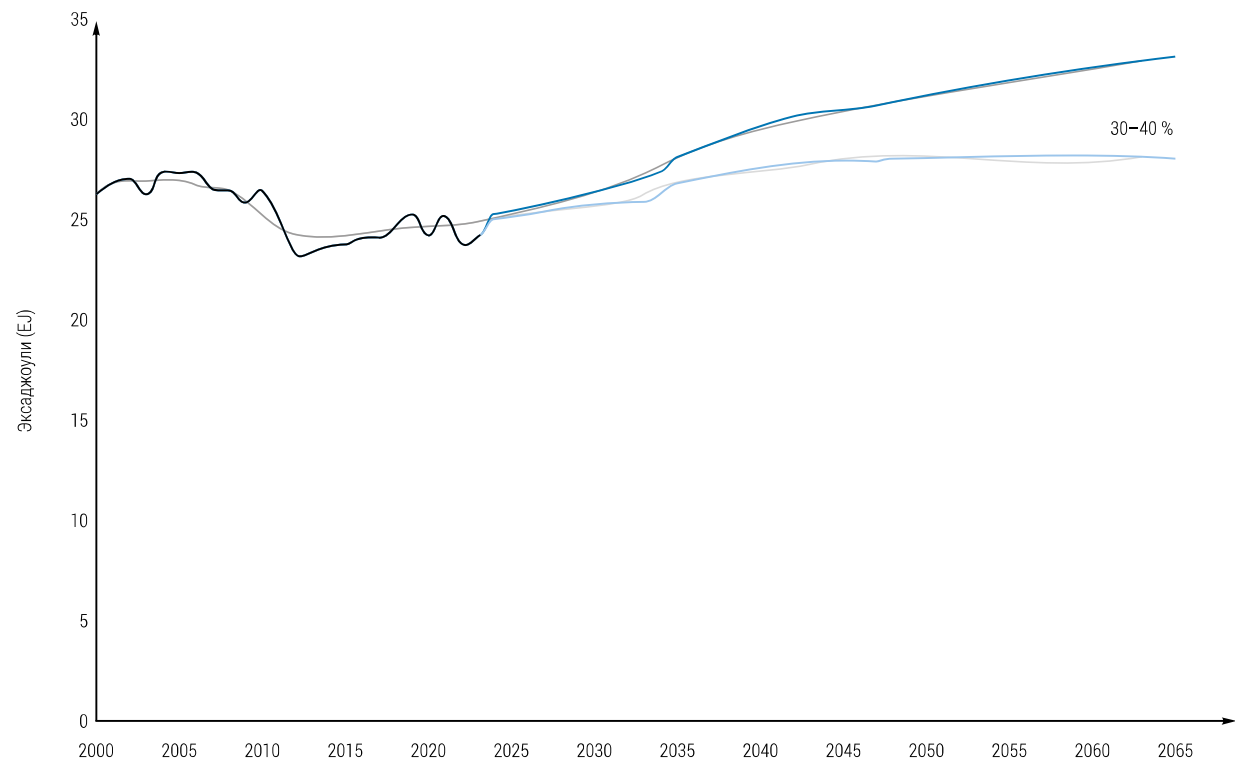


Рис. 9. Результаты нейросетевого прогноза коридора мирового потребления энергии АЭС (Exajoules) Источники: ВР, ИНЭИ РАН

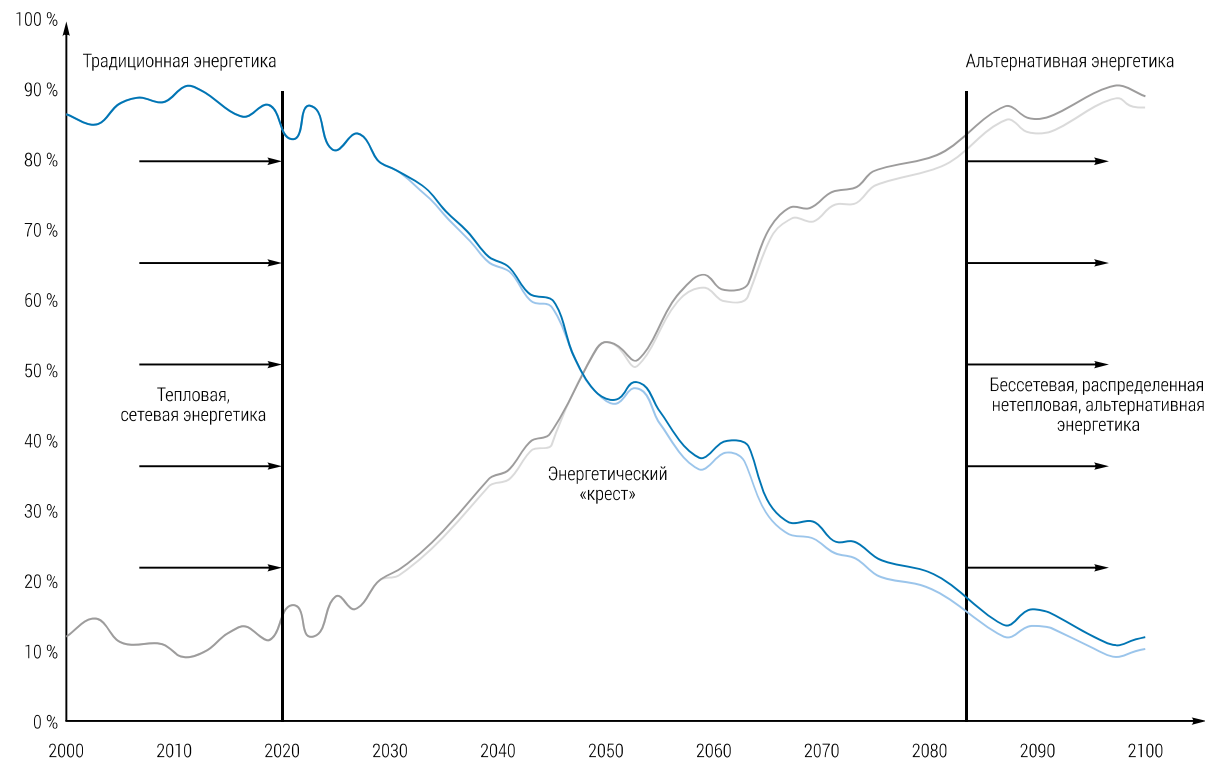


Рис. 10. Результаты нейросетевого прогноза долей в мировом энергобалансе традиционной и альтернативной энергетик Источники: ВР, ИНЭИ РАН



ЛЭП Источник: iagorod.kz

требления энергии АЭС к середине периода могут увеличиться на 30–40% (рис. 9).

Энергопереход как новое качество развития мировой энергетики

С ростом объемов альтернативных энергоисточников энергетика стала переходить из одного состояния в качественно противоположное. В настоящее время происходит «переполусовка» развития энергетики. Эта «переполусовка» фактически и означает энергопереход – переход к новому качеству развития энергетики (рис. 10).

Если в 2020 г. энергетика являлась, в основном, традиционной, базирующейся на тепловой генерации больших мощностей и разветвленной сети электропередач, то примерно к 2080 г. она станет противоположной действующей. Это будет энергетика нетепловой генерации малых распределенных мощностей, в которой произойдет постепенное сокращение сетевой составляющей.

Можно выделить два 30-летних периода трансформации энергетики. Первый пе-

риод, в котором традиционная энергетика, снижаясь, все же остается доминирующей, и последующий за этим период, в котором альтернативная энергетика, повышая свою долю в мировом энергобалансе, почти полностью замещает традиционные энергоисточники.

Примерно к 2050 г. мировая энергетика «выйдет» на своеобразный «энергетический крест», символизирующий окончание эры доминирования традиционной энергетики. Эта точка, в свою очередь, является началом доминирования альтернативной энергетики. По сути, 2050 г. – это

В середине века потребление нефти снизится на 30%, а к концу века будет очень близко к нулю. Пожалуй, только мировое потребление газа будет обладать продолжительной стабилизационной фазой

В 2030-2035 гг. потребление газа достигнет наибольшего значения и будет находиться на стабилизационном уровне примерно до 2040 г. Затем возможно системное снижение спроса

время окончательного перехода мировой энергетики в новое качество. После нее можно констатировать, что энергопереход в мировом развитии состоялся. Более того, он вызвал появление нового качества как в мировом технологическом, так и экономико-политическом развитии.

Главные закономерности глобального энергоперехода

В чем же заключается основная суть нового качества энергетики? Дело в том, что энергетика, как наука, обладает рядом

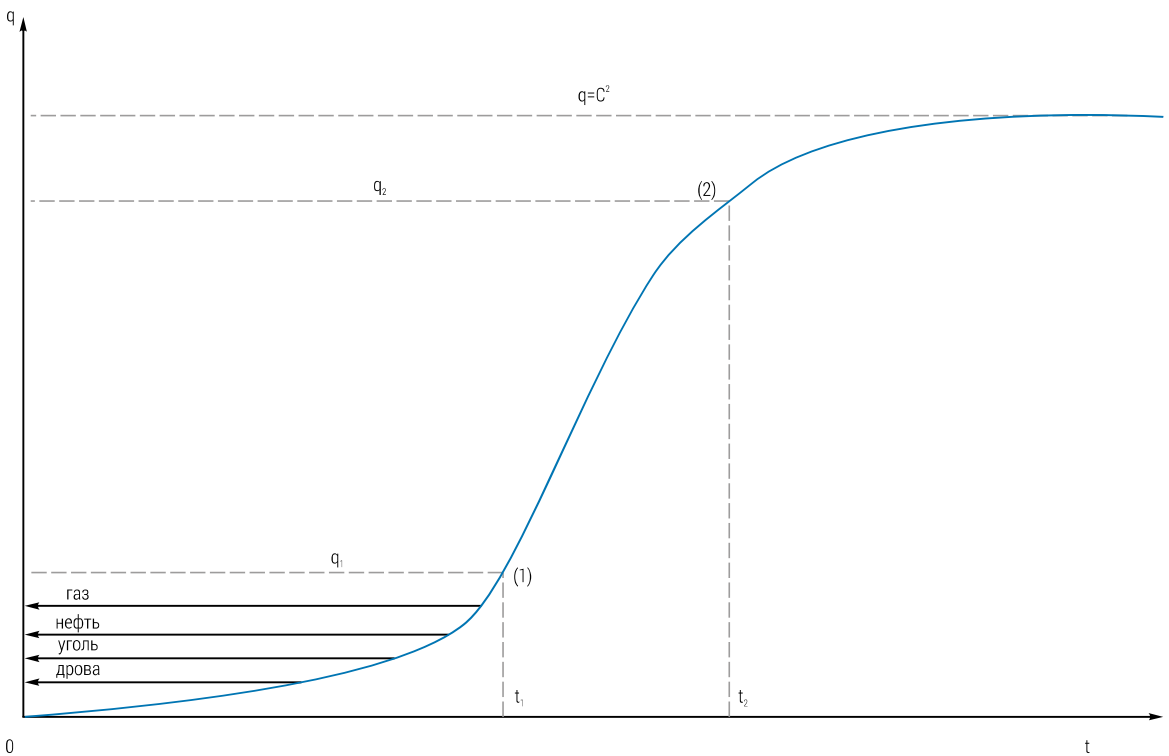
фундаментальных закономерностей. Возможно, одной из главных закономерностей развития глобальной энергетики является закономерность перманентного роста плотности энергии применяемых энергоисточников. При этом под плотностью энергии понимают количество энергии, приходящейся на единицу массы энергоисточника (энергоресурса).

Энергетики широко используют этот показатель в своих расчетах и называют его калорийным эквивалентом используемого топлива (k). Дрова (k = 0,2 т у. т./т), уголь (k = 0,7 т у. т./т), нефть (k = 1 т у. т./т), газ (k = 1,8 т у. т./т), водород (k = 4 т у. т./т) и т. д. – это энергоисточники, последовательно используемые в хозяйственном обороте мировой экономики, системно повышающие плотность потребляемой энергии. Однако такой перманентный рост имеет свой предел (рис. 11), не превышающий, в соответствии с формулой А. Эйнштейна, величину c² (квадрат скорости света) [5].

Рост плотности энергии энергоисточников во времени фактически отражает закон сохранения энергии. Полная энергия применяемых энергоисточников состоит из суммы реализуемой энергии E и потенциально еще нереализованной энергии П:

Рис. 11. Закономерность перманентного роста плотности энергии применяемых энергоисточников

Источник: ИНЭИ РАН



Павлодарская ТЭЦ-3, Казахстан
Источник: wiki2.org

$$W = E + П \tag{1}$$

При этом реализуемая энергия определяется как:

$$E = q \cdot m, \tag{2}$$

где q – плотность энергии, т у. т./т; m – масса топлива, т.

Потенциальная же нереализованная энергия может быть определена на основе равенства:

$$П = \Delta q \cdot m, \tag{3}$$

где Δq – нереализованная плотность энергии, $\Delta q = c^2 - q$.

Отметим, что реализуемая энергия, в основном, превращается в кинетическую энергию машин и механизмов, используемых в мировой экономике, а нереализованная энергия показывает, какая ее величина могла быть максимально использована.

В соответствии с выше приведенным, нетрудно понять, что, в целом, сумма двух энергий является постоянной величиной, а рост плотности энергии, в соответствии с S-образной кривой, например, из положения (1) в положение (2), подчиняется закону сохранения энергии. В этой связи

процесс движения по этой кривой носит фундаментальный характер и обладает свойством необратимости: вверх и только вверх, в сторону увеличения реализуемой энергии.

Прирост энергии – это работа, совершаемая некой силой развития. Оставляя за пределами все рассуждения о природе этой силы, отметим, что прирост энергии в единицу времени – это мощность.

В этой связи глобальный энергопереход, который в настоящее время реализуется в мировой экономике: переход от нижней горизонтальной платформы движения (до точки 1) в зону вертикальной эскалации (точка 2) – это огромный скачок мощности развития. Мировая энергетика из зоны низких плотностей энергии переходит в зону высоких и очень высоких плотностей энергии.

В настоящее время человечество путем энергетической, технологической, политико-экономической и, наконец, военной конфронтаций переходит на новый цивилизационный трек развития. Зачем же человечество идет в зону высоких плотностей энергии?

Дело в том, что энергетика является базовой основой мирового технологического развития. Она первична по отношению к тем технологиям, которые появляются в экономике. Примером этого являются уже состоявшиеся мировые промышленные революции.

Первая промышленная революция связана с началом применения в индустрии парового двигателя на угольном топливе. Появился энергоисточник – уголь, а вслед за ним паровой котел, паровозы, рельсы, шпалы и вокзалы, а вовсе не наоборот.

Во вторую промышленную революцию появился новый энергоисточник – нефть, а затем двигатель внутреннего сгорания, автомобили, шоссе и заправки, а вовсе не наоборот, и т. д.

В этой связи использование все новых и новых энергоисточников, обладающих более высокой плотностью энергии, объясняется стремлением человечества к новым знаниям, реализуемым в новых технологиях.

Весьма показательным выглядит и опыт нашей страны. Так, широкая индустриализация 20–40-х гг. XX в. началась на базе плана ГОЭЛРО, т. е. построения новой энергетики, активно использующей гидрогенерацию [6].

Взаимосвязь глобальных переходов и закономерности мирового технологического перехода

Закономерность первичности энергии в мировом технологическом развитии объясняет реализуемый в настоящее время мировой технологический переход. Он базируется на переходе энергетики в зону вертикальной эскалации плотности энергии применяемых энергоисточников (см. рис. 11).

В настоящее время человечество вошло в зону сразу четырех тесно связанных

заявок переходит в отрицательную зону). Суть такого перехода – изменение парадигмы технологического развития. Если во времена первой, второй и третьей мировых промышленных революций производительность труда росла за счет расширения механизации ручного труда, то теперь этому наступил предел.

Цивилизация, реализуя четвертую промышленную революцию, входит в новую фазу развития, в которой производительность труда будет повышаться за счет роста уровня его интеллектуализации. Наступает новая эпоха, в которой не объемы материальных ресурсов и энергии, вовлекаемых в хозяйственный оборот общества, а эффективное управление ими становится главной доминантой мирового развития.

Завершая тему взаимосвязи глобальных мировых переходов, в т. ч. с политико-экономическим переходом, отметим, что, по нашим расчетам, уровень военно-политической эскалации, достигнув своего максимального значения в 2024–2025 гг., вероятнее всего, в ближайшей перспективе будет снижаться. Политико-экономическое развитие также входит в фазу качественного изменения своего состояния.

Существует ли подтверждение выше приведенной динамики мирового технологического перехода? Да, существует. Как показывает статистический анализ динамики мировых патентных заявок, прирост технологических инноваций после 2020 г. будет снижаться. Однако за пределами названного периода резко возрастут нетехнические инновации (организационные, управленческие, социальные, экономические, культурные, информационные). Это означает, что технологический переход связан с весьма значительным ростом интеллектуальных инноваций. Собственно говоря, четвертая промышленная революция – это начало глобальной интеллектуализации: на первом этапе в промышленности (программа «Индустрия 4.0»), а затем во всех сферах жизни общества (программа «Общество 5.0»).

Анализ и, соответственно, прогноз мировых патентных заявок позволил выявить классы стабильных и растущих инноваций (рис. 13).

Самыми растущими инновациями в будущем периоде времени, скорее всего, станут ИТ-методы организации и управления, компьютерные технологии, цифровые средства коммуникации и связи.

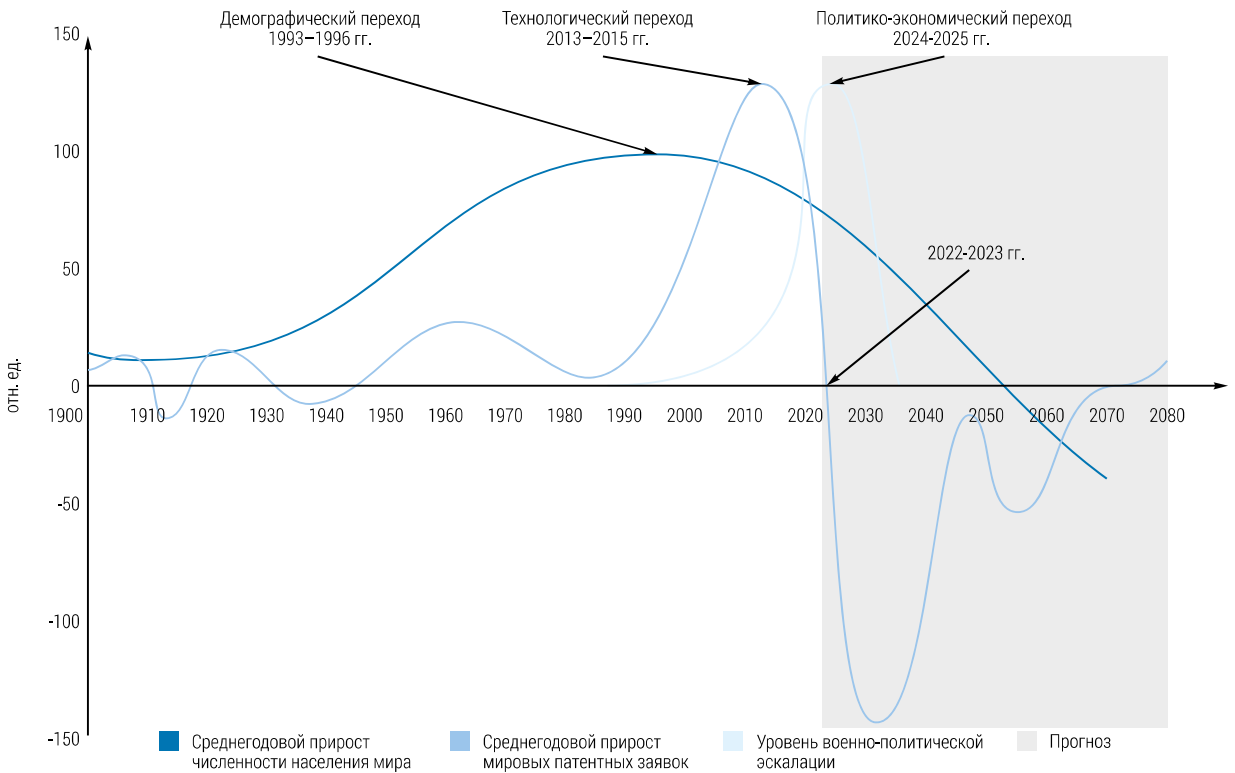


Рис. 12. Закономерность реализации глобальных мировых трансформаций

Источник: ИНЭИ РАН

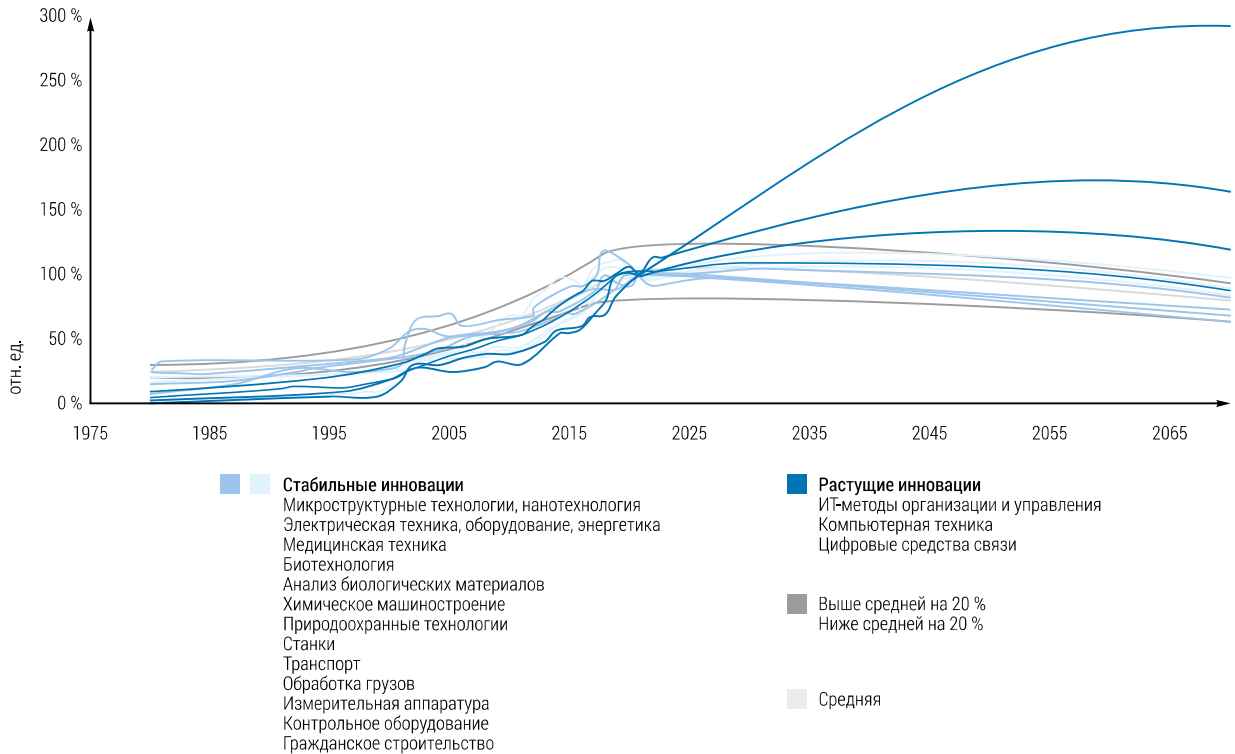


Рис. 13. Динамика технических инноваций, измеренная по количеству мировых патентных заявок (2021 г. = 100%)

Источники: WIPO, ИНЭИ РАН



Сверхскоростной поезд
Источник: shiyali / depositphotos.com

между собой глобальных переходов: демографического, энергетического, технологического и политико-экономического (рис. 12). Демографический переход тянет за собой энергетический переход (оценен по динамике интенсивности мировых патентных заявок [7]), а также технологический переход.

Последний же из них стал основой для формирования мирового политико-экономического перехода (замерен экспертно по уровню санкционной и военно-политической напряженности). Отметим, что также, как и в энергетике, в настоящий период времени происходит «переполусовка» мирового технологического развития (годовой прирост мировых патентных

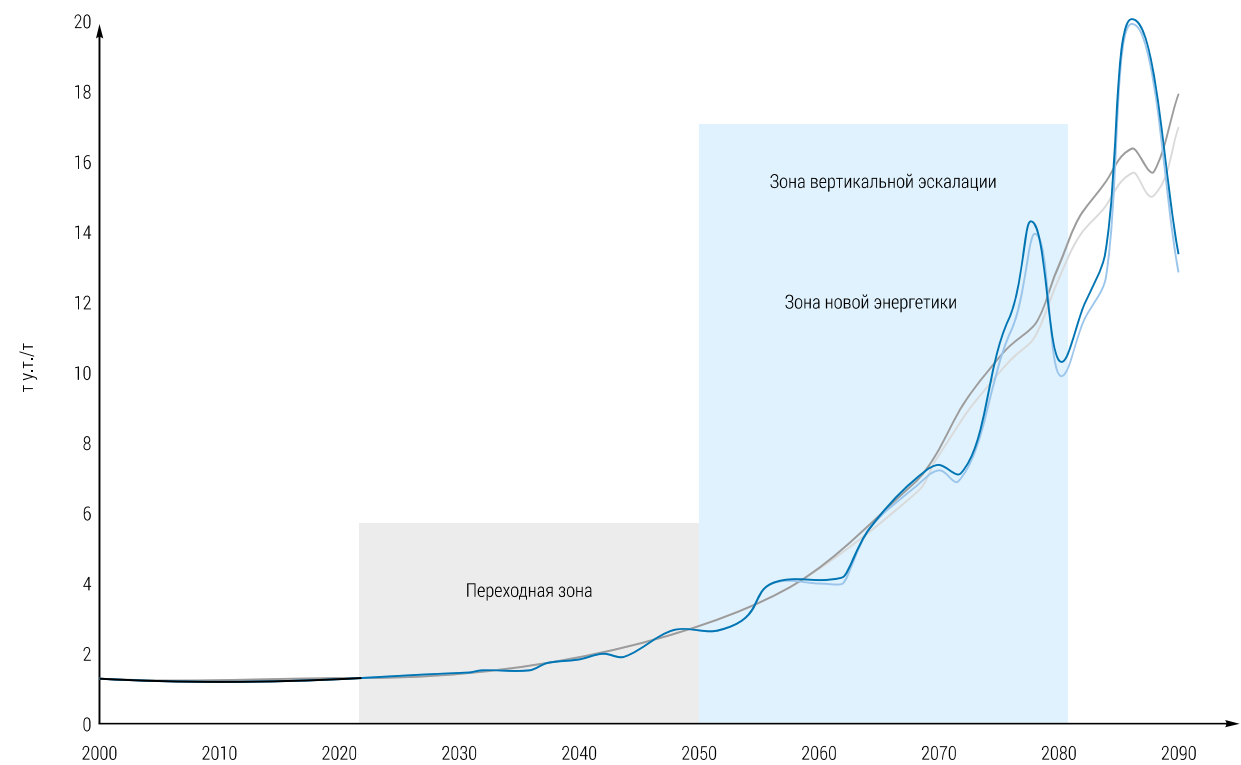


Рис. 14. Результаты нейросетевого прогноза роста плотности энергии применяемых энергоисточников, т. у. т./т

Источник: ИНЭИ РАН

Как показывают расчеты, эти технологии в период до 2040–2050 гг. будут занимать порядка 40% от всего нового технологического портфеля. А это значит, что появятся совершенно новые секторы экономики, в т. ч. новая производственная и социальная инфраструктуры, которых еще никогда не было в нашей практике.

Широкая интеллектуализация экономики, с большой вероятностью, потребует изменения действующей системы оценок и критериев эффективности реализуемых проектов.

Нейросетевой прогноз плотности энергии. Космос как пространство новых возможностей развития энергетики

Рост интеллектуальных инноваций направлен на повышение уровня роботизации производства и производительности труда в экономике. Рост же производительности труда требует перехода на другие, более продуктивные источники энергии. Об этом свидетельствует представленная закономерность перехода энергетики

в зону вертикальной эскалации плотности энергии энергоисточников (см. рис. 11).

Нами установлена зависимость производительности труда от плотности энергии энергоисточников. Производительность труда в мировой экономике в целом растет пропорционально плотности энергии энергоисточников, взятой в степени 1,5–2. Это значит, что на участке вертикальной эскалации вышеназванного показателя следует ожидать значительного роста производительности труда, превышающего рост плотности энергии применяемых энергоисточников.

Кроме роста производительности труда, примерно в таких же пропорциях будет увеличиваться средняя скорость перемещения людей и грузов в мировой экономике. Если предположить, что средняя плотность энергии увеличится, например, в 2 раза, то примерно в 3 раза может быть повышена средняя производительность труда и скорость перемещения в мировой экономике. И это вполне достижимо уже в ближайшем периоде.

Так, по нашим оценкам, плотность энергии солнечных и ветровых энергоисточников эквивалентна величине, примерно равной 4–6 т у. т./т. Для сравнения: плотность

энергии газа составляет около 1,8 т у. т./т. Эти источники, а также развитие ядерной энергетики обеспечивают переход в зону высоких значений плотности энергии.

В соответствии с результатами нейросетевого прогноза получена динамика изменения плотности энергии энергоисточников в XXI в. (рис. 14).

В прогнозном периоде можно выделить 2 зоны изменения плотности энергии:

- I период – переходная зона;
- II период – зона вертикальной эскалации.

В переходной зоне плотность энергии (в целом по миру) увеличивается с действующего уровня (1,1–1,3 т у. т./т) до примерно 2,5–3 т у. т./т к концу периода (2050 г.), т. е. за весь переходный период времени в 2,5–3 раза. Этот уровень может быть вполне обеспечен ветровыми и солнечными источниками генерации, расположенными на поверхности Земли. Более того, такую плотность энергии могут обеспечить постоянно прогрессирующие накопители энергии и аккумуляторы. Альтернативная энергетика выйдет к окончанию переходного периода на так называемый «энергетический крест» (см. рис. 10), после которого возникнет ее абсолютное доминирование. Однако эта альтернативная энергетика будет существенным образом отличаться от ныне действующей. Она должна соответствовать достижению высоких и очень высоких плотностей энергии.

ВЭС

Источник: oooevna.ru



К 2080 г. энергетика станет противоположной действующей. Это будет энергетика нетепловой генерации малых распределенных мощностей, в которой будет сокращаться сетевая составляющая

Уже в 2060–2070 гг. средняя плотность энергии по сравнению с существующим уровнем, по нашим оценкам, увеличится примерно в 6 раз и составит 6–7 т у. т./т. Это означает, что возобновляемые источники энергии во все в больших объемах будут выноситься в космос, т. е. в зону высокой интенсивности солнечного излучения. Значительно увеличатся масштабы формирования орбитальной энергетики с разворачиванием космических группировок из солнечных электростанций на орбите Земли. И в этом будет большая необходимость.

С увеличением плотности энергии энергоисточников существенно возрастает средняя скорость перемещения людей и грузов. Так, в случае увеличения плотности энергии в зоне вертикальной эскалации по сравнению с действующим периодом в 6–7 раз следует ожидать рост средней скорости перемещения более чем в 10 раз. Если оценить действующую среднюю скорость как 80–100 км/ч, то в 2060–2070 гг. эта скорость должна достигнуть величин, не менее 800–1000 км/ч.

Понятно, что такие скорости перемещения людей и грузов достижимы за счет широкого применения аэрокосмического транспорта. Фактически, это означает переход к новому качеству развития мировой транспортно-коммуникационной инфраструктуры. Многочисленная аэрокосмическая и, вероятнее всего, беспилотная группировка должны обеспечиваться энергией, получаемой за счет генерирования ее орбитальными электростанциями, передающими энергию для летательных аппаратов дистанционно.

Освоение космоса во многом даст новый импульс развитию энергетических технологий, в т. ч. используемых в по-

вседневной жизни. В зоне вертикальной эскалации плотности энергии энергоисточников произойдет своеобразная «смычка» между развитием космических и энергетических технологий. Они станут развиваться параллельно, при этом темпы экспансии космического пространства будут определяться скоростью проведения энергоинформационных преобразований.

Мировой транспортно-коммуникационный переход

Ориентация мировой экономики на высокие скорости движения уже сегодня проглядывается в динамике мировых перевозок. Все в большей мере перевозка людей и грузов будет выходить из зоны работы железнодорожного и морского транспорта. Так, объем мировых железнодорожных перевозок (в млн т) уже в 2015–2020 гг. достиг максимального значения (рис. 15).

В соответствии с результатами нейросетевого прогноза установлено, что после периода начала 20-х гг. XXI в. объем грузов, перевозимых железнодорожным транспортом, будет планомерно снижаться. К 2050 г. он, по сравнению с достигну-

тым максимумом, может снизиться примерно на 56÷62%. Это довольно большое сокращение объемов железнодорожных перевозок, которое, по всей вероятности, будет наблюдаться в будущем периоде даже в условиях широкого развития высокоскоростного движения поездов.

Аналогичная ситуация, правда, со сдвигом вправо на 10 лет, по всей вероятности, будет наблюдаться и в секторе морских перевозок (рис. 16).

Анализ результатов прогноза свидетельствует о том, что уже примерно в 2020–2022 гг. был достигнут максимум этих перевозок, а за пределами 2030 г. начнется их системное снижение. В 2050 г. объем грузов мировых морских перевозок сократится в среднем на 39–42%. Сокращение объемов морских и железнодорожных перевозок свидетельствует о переходе транспортно-коммуникационной системы в зону аэрокосмического транспорта. Но это лишь одна сторона дела. Другая заключается в том, что в структуре морских и железнодорожных перевозок существенную долю занимают доставка нефти, нефтепродуктов, сжиженного природного газа и угля. Однако в связи с энергетическим переходом экономики в зону вер-

Рис. 15. Результаты нейросетевого прогноза коридора объемов мировых железнодорожных перевозок, млн т (1999 г. = 100%)

Источники: ООН, ИНЭИ РАН

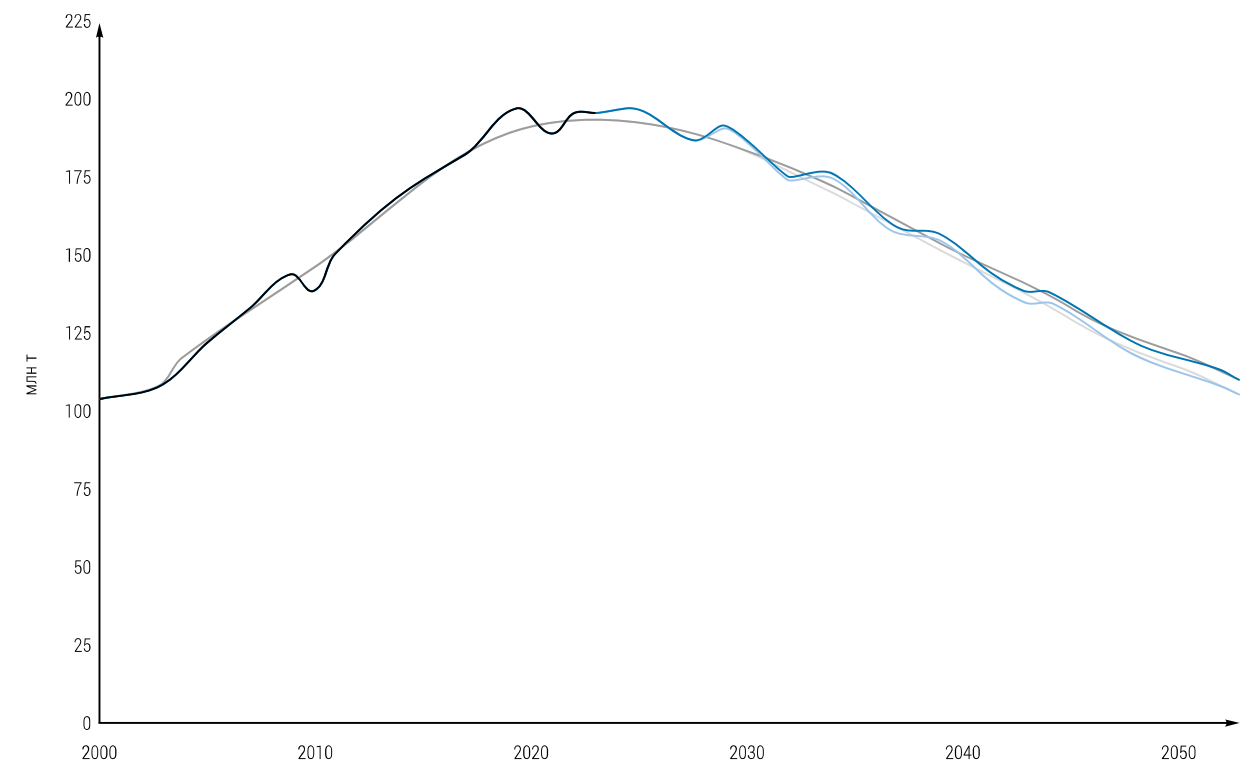
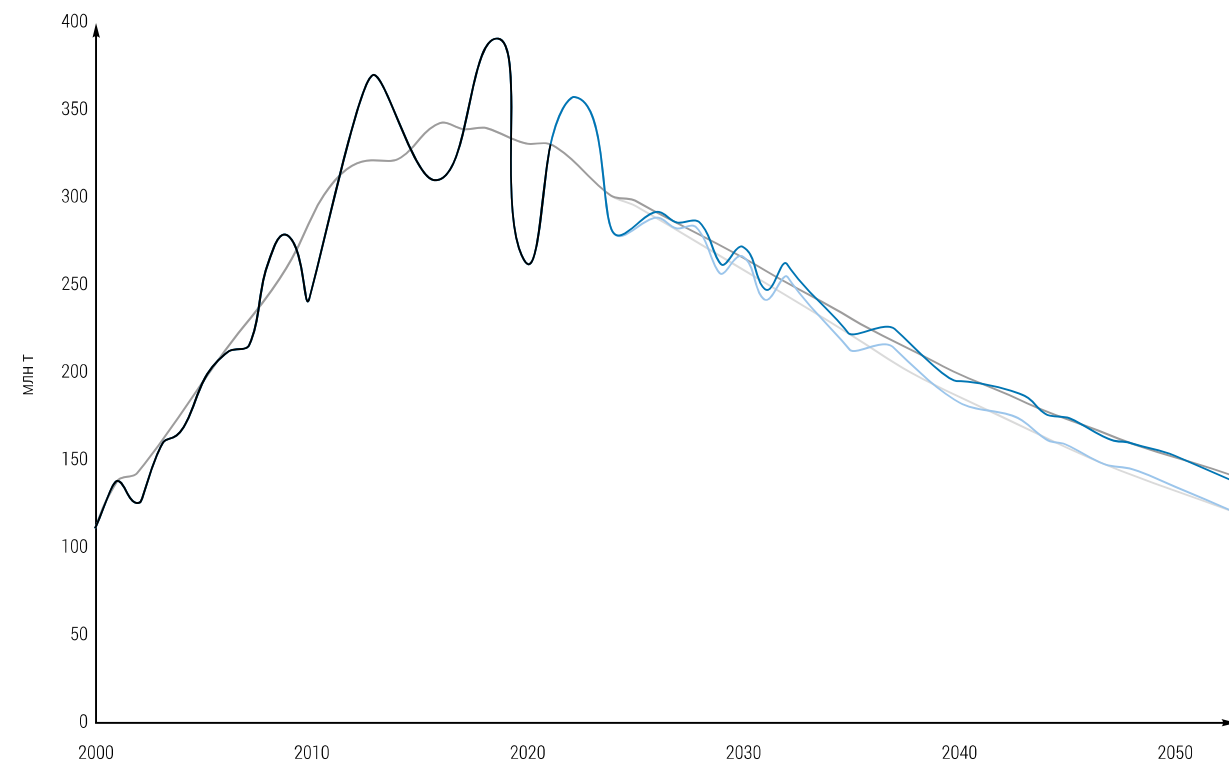


Рис. 16. Результаты нейросетевого прогноза коридора объемов мировых морских перевозок, млн т (1999 г. = 100%)

Источники: ООН, ИНЭИ РАН

тикальной эскалации плотности энергии энергоисточников, востребованность в перевозке таких продуктов будет существенным образом сокращаться.

Это сокращение, помимо перехода к ВИЭ, будет обусловлено развитием ядерной энергетики – энергетики высоких плотностей энергии, в миллионы раз превышающих плотность энергии углеводородных энергоисточников, что существенно снизит проблему логистики топлива. Так, ежегодный расход топлива в одном современном реакторе составляет около 22 т/год [8].

Угольная ТЭС той же мощности потребляет ежедневно 2 железнодорожных состава по 60 вагонов, грузоподъемностью 60 т угля. Это более 1,3 млн т угля в год. Эффект в снижении объемов транспортирования огромен.

В структуре перевозок во все большей мере будут сокращаться габаритно-тоннажные энергетические продукты, и во все значимой мере грузы станут малотоннажными, малогабаритными и более пригодными для доставки аэрокосмическим транспортом. Развитие аэрокосмического транспорта во все большей мере будет сочетаться с прогрессом в технологиях орбитальной энергетики.

Для России, в силу ее большой территории, вероятнее всего, следует сосредоточиться на развитии аэрокосмических коммуникаций. Да, строительство скоростных железнодорожных магистралей необходимо. Однако надо иметь в виду, что в стратегическом периоде необходимо делать акцент на формировании аэрокосмической транспортной инфраструктуры и инфраструктуры орбитальной энергетики. С учетом выше приведенных причин акцент на строительство скоростных железнодорожных магистралей для доставки людей и грузов является очевидным. Ско-

По сути, 2050 г. – это время окончательного перехода мировой энергетики в новое качество. После нее можно констатировать, что энергопереход в мировом развитии состоялся

рее всего, транспортно-коммуникационная система будущего должна стать комбинированной. В ней небольшие территориальные зоны должны обслуживаться недлинные скоростными железнодорожными магистралями, а удаленные друг от друга зоны — связываться между собой аэрокосмическими коммуникациями. Для России, обладающей значительными расстояниями, такое построение транспортно-коммуникационной системы в период снижения объемов крупнотоннажных грузов является не только более перспективным, а еще и уникальным с точки зрения большого запроса на развитие аэрокосмических технологий и космодромной инфра-

никовых группировок и создании новых ракет-носителей на альтернативных видах топлива. Среди них планируется применение и аппаратов многоразового использования. До конца 2024 г. будет осуществлен запуск более 100 спутников. Отдельный блок касается развития инфраструктуры космодромов, продолжения пилотируемых программ, а также программ исследования дальнего космоса.

С целью реализации стратегических задач освоения космического пространства Президент России В. В. Путин поручил Правительству РФ в первой половине 2024 г. подготовить национальный проект по развитию космоса [10]. На наш взгляд, это весьма важные шаги для формирования нового технологического облика экономики и энергетики России.

Прогнозный контур будущей энергетики

Проведенные расчеты плотности энергии энергоисточников ориентируют на существенную трансформацию мирового энергетического баланса. Так, высокая плотность энергии энергоисточников, прогнозируемая к концу XXI в. при почти полном исчерпании возможностей традиционной энергетики свидетельствует о значительной доли ядерных и, вероятно, термоядерных источниках энергии. Эти энергоисточники обладают плотностью энергии в тысячи и миллионы раз превышающей плотность энергии традиционных энергоисточников.

Проведенный нейросетевой прогноз указывает на то, что примерный энергетический баланс к концу XXI в. может иметь вид:

- ВИЭ, включая орбитальные группировки, примерно 20%;
- ядерные, в т. ч. возможно термоядерные источники энергии, около 80%.

Такое соотношение позволяет обеспечить уровни плотности энергии, полученные при проведении прогнозных расчетов (см. рис. 14). Значительный толчок развития мировой энергетики в период 2050–2060 гг., по-видимому, будет связан с широким применением передовых ядерных установок замкнутого цикла, работающих на быстрых нейтронах, что существенным образом повысит среднюю плотность энергии энергоисточников, используемой в экономике.

По всей видимости, в этот же период возможно и применение источников термоядерной энергии. Об этом свидетельствует большая напористость многих стран в реализации термоядерных проектов. Так, 14 апреля 2023 г. в Японии была принята «Инновационная стратегия в области термоядерной энергетики». Это первый открытый документ, предельно четко оценивающий перспективы развития термоядерной энергетики [11]. В нем намечены меры по созданию уже в районе 2050 г. термоядерных установок, предназначенных для коммерческой эксплуатации. Отметим, что термоядерные источники энергии безопасны с точки зрения радиоактивности. В этом смысле развитие термоядерной энергетики тесно «смыкается» с решением задач так называемой «зеленой» климатической повестки. Фактически термоядерная энергетика решает 2 большие задачи: обеспечение экологической чистоты и достижение энергетического изобилия, ликвидирующего энергетическую бедность населения мира.

Путь к развитию термоядерной энергетики лежит через совершенствование технологий ядерной энергетики. Наиболее вероятными направлениями ее трансформации являются стремление к реализации технологий прямого преобразования в электрическую энергию и к минимизации размеров энергоисточников. В этой связи показательны наме-

АЭС во Франции
Источник: aube-champagne.com



Энергетика обладает рядом фундаментальных закономерностей, одной из главных среди них является закономерность перманентного роста плотности энергии применяемых энергоисточников

рения Японии, в которой активно ведется работа по созданию небольших (до 300 МВт) ядерных установок. При этом важное значение придается развитию малых мобильных ядерных источников (до 1 МВт, весом до 40 т), помещающихся в стандартных контейнерах. Несмотря на то, что стоимость таких реакторов первоначально может превышать стоимость обычной генерации, выгода мобильности и гибкости их использования неоспорима, особенно при электрификации отдельных локальных зон и труднодоступных районов страны [12].

Развитие малой термоядерной энергетики прямого преобразования энергии, вероятнее всего, будет представлять собой наиболее перспективное направление. В целом энергетика, по всей видимости, будет преобразовываться в распределенную и бессетевую, основанную на применении своеобразных «ядерных батареек».

Чем выше плотность энергии энергоисточников, тем более малыми будут их размеры. Показательны в этой связи заявления делегации ОАЭ, прозвучавшие 2–4 июля 2024 г. в г. Кемерово на заседании высших должностных лиц по энергетике стран БРИКС, о намерениях по реализации малой и мобильной ядерных энергетик. И это несмотря на то, что ОАЭ обладают избытком нефтегазовых ресурсов и имеют большие возможности для развития солнечной и ветровой генерации. Заслуживает также положительной оценки опыт этой страны по разработке Энергетической стратегии с прогнозным горизонтом до 2075 г. Как не покажется парадоксальным, но рост темпов научно-технологического развития требует более глубоких горизонтов прогнозирования энергетики. Конечно, это могут быть лишь

Космический спутник с солнечными панелями
Источник: Arch88 / depositphotos.com

структуры. Ни одна европейская страна из-за несопоставимо малых по сравнению с Россией размеров территорий не обладает таким потенциалом спроса на развитие выше названных коммуникаций. Большая территория России, как оказывается, является мощным фактором технологического и экономического развития страны.

В этой связи отрадно отметить намерения Правительства РФ двигаться в названном направлении. Так, на одном из заседаний комитета Госдумы РФ вице-премьер Д. В. Мантуров заявил, что перевод российской экономики на новый технологический уклад потребует усиления позиций страны в космосе [9]. Для этого господдержка будет сфокусирована на расширении спут-

прогнозные контуры, но и они представляют собой значительную ценность в определении стратегических путей развития энергетики.

Заключение

Многие исследователи в последнее время стали осознать, что для формирования более обоснованных стратегических решений необходимо увеличить глубину разрабатываемых прогнозов. Так, в середине 2024 г. министр энергетики России С. Е. Цивилев заявил о намерениях подготовки стратегических документов, охватывающих развитие российской энергетики на период до 2100 г. [13].

Такое решение заслуживает одобрения, поскольку оно соответствует задачам энергетического и технологического перехода, обуславливающих существенный рост темпов научно-технологического развития. Это означает ускоренную смену применяемых технологий и, соответственно, значительно снижающийся срок их жизни.

Вероятность реализации конкретной технологии в прогнозном периоде зависит от рассматриваемой длительности периода: чем больше глубина этого периода (Δ Т), тем большая вероятность реализации этой технологий в рассматриваемом периоде времени.

Удлинение периода снижает неопределенность появления в нем конкретной технологии. При этом в прогнозном периоде одна технология замещается другой, через срок ее жизни. Чем больше срок жизни (Δ Р) технологии, тем с большей надежностью ее можно отличить от других технологий, последовательно сменяемых в рамках прогнозного периода.

Следует ожидать роста средней скорости перемещения в 10 раз. Если оценить действующую скорость в 80–100 км/ч, то в 2060–2070 гг. она должна достигнуть величин не менее 800–1000 км/ч



СЭС

Источник: chungking / depositphotos.com

Это означает, что неопределенность фиксации конкретной технологии на длине прогнозного периода снижается при увеличении срока ее жизни. Однако увеличение глубины прогнозирования и увеличение срока жизни конкретной технологии – это противоречивые между собой события. Более высокие темпы научно-технологического развития и, следовательно, более малые сроки жизни технологий соответствуют более глубоким временным горизонтам. Из этого следует, что два выше названных события не могут одновременно приводить к снижению уровня неопределенности. Если за счет увеличения глубины прогнозирования неопределенность уменьшается, то неопределенность выявления конкретной технологии повышается, и наоборот.

Такая ситуация аналогична реализации принципа Гейзенберга в квантовой механике [14]:

Δ Т · Δ Р ≥ h

где h – некоторая фиксированная величина.

Учитывая, что обратная величина срока жизни технологий (Δ Р) определяет частоту их смены (ν), можно прийти к зависимости:

Δ Т ≥ h · ν

Выражение (5) фактически определяет прямо пропорциональную зависимость глубины прогнозирования от темпов научно-технологического развития. Чем выше эти темпы, тем большей должна быть глубина прогнозного периода.

Ранее было показано, что в зоне вертикальной эскалации плотность энергии энергоисточников может быть повышена примерно в 6–7 раз. Вследствие этого темпы научно-технологического развития должны увеличиться примерно на ту же величину. Учитывая, что действующие прогнозы как правило охватывают глубину в 15–20 лет, можно констатировать необходимость значительного ее увеличения.

Для формирования стратегических решений по энергетике в условиях реализации системы мировых переходов (в т. ч. энергетическом и технологическом взрывах), по нашему мнению, целесообразно довести глубину прогнозов до 90–140 лет. Тогда средний срок прогнозов, определяющих стратегические пути развития энергетики, должен составлять около 120 лет.

Остается вопрос: зачем современное общество, планирующее свою производственно-хозяйственную деятельность на 10–20 лет, формирует запрос на такой длительный срок прогно-

зирования? В какую длительную дорогу, да еще при наличии высоких скоростей перемещения, оно собралось? Ответ очевиден – в космос. Вероятно, основные производственно-хозяйственные проекты будущего периода так или иначе будут связаны с экспансией космического пространства. При таком длительном сроке прогнозирования становится невозможным применение экономических оценок принимаемых решений. Нельзя, например, определить уровень инфляции или уровень цен на 100 лет вперед.

Это означает, что оценки необходимости реализации проектов должны базироваться на использовании фундаментальных категорий развития: материя (m), пространство (S) и время (t). Удивительным образом эти категории комплексно аккумулируются в показателе «энергия»:

E = m · S²/(2 · t²)

Это означает, что будущее развитие в долгосрочном периоде целесообразно оценивать энергетическими показателями и, в первую очередь, плотностью энергии применяемых энергоисточников, определяющей темпы осуществляемого мирового цивилизационного перехода.

Использованные источники

1. Бушуев В.В., Клепач А.Н. На пути к космопланетарной цивилизации // Коллективная монография. – М.: ИД «Энергия». 2023. – 688 с. DOI: 10.5281/zenodo.7684441 EDN: YQGWFC

2. Плакиткин Ю. А. Energy and world development forecast in XXI century // Methodological Problems in Reliability Study of Large Energy Systems. Rudenko International Conference. 2023. Иркутск.

3. BP World Development Indicators Primary Energy: Consumption (дата обращения: 25.06.2024).

4. Плакиткин Ю.А., Плакиткина Л.С., Дьяченко К.И. Современные тренды и прогноз развития угольной промышленности мира и России в условиях трансформации мировой экономики. Часть 1. Сложившиеся тренды функционирования угольной промышленности мира и России с начала XXI века // Уголь. № 3. 2024. С. 44–51. URL: <https://ugolino.ru/artpdf/RU2403044.pdf>

5. Плакиткин Ю.А. Глобальный энергопереход в трансформациях мирового развития, задачи по адаптации отраслей ТЭК России // В сборнике «Технологическое развитие отраслей ТЭК для достижения углеродной нейтральности экономики России». – М.: Издательский дом МЭИ. ИНЭИ РАН. 2023. С. 52–60.

6. Галушка А.С., Ниязметов А.К., Окулов М.О. Кристалл роста к русскому экономическому чуду. – М., 2021. – 360 с. ISBN 978-5-9243-0299-7

7. Wipo statistics. URL: <https://www.wipo.int/patents/ru/patent-information.html> (дата обращения 21.03.2024).

8. Стоянов А.Д., Харитонов В.В. Потенциал развития ядерной энергетики в Узбекистане // Экономические стратегии. 2024, № 1 (193). С. 26–35.

9. Лисицына М. Мантуров объявил о переводе экономики на новый технологический уклад // РБК. 12 мая 2024 г. URL: <https://www.rbc.ru/economics/12/05/2024/6640e7c49a79479eaf1ce780>

10. Костерева М. Путин поручил расширить нацпроект по развитию космической сферы. URL: <https://www.kommersant.ru/doc/6467847>

11. Юрков С. Э. Почему атомный ренессанс так отчаянно важен для будущего Японии? // Экономические стратегии. 2024, №1 (193). С. 18–25.

12. Обухов К. Новая генерация: как формируется рынок малых атомных электростанций // РБК-Отрасли. 15 декабря 2023 г. URL: <https://www.rbc.ru/industries/news/657c257c9a79476689b6c05b>

13. Глава Минэнерго планирует разработать стратегию развития энергетики РФ до 2100 г. // ТАСС. 21 мая 2024 г. URL: <https://tass.ru/ekonomika/20859233>

14. Гейзенберг В. Физика и философия. Часть и целое: Пер. с нем. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1989. – 400 с. ISBN 5-02-012452-9