

ЭНЕРГЕТИКА БУДУЩЕГО И НОВЫЕ ВЫЗОВЫ ДЛЯ РОССИИ

ENERGY OF THE FUTURE AND NEW CHALLENGES FOR RUSSIA



ПЛАКИТКИН Юрий Анатольевич

д. э. н., проф., академик РАЕН, Институт энергетических исследований РАН, Москва, Россия

Yuri A. PLAKITKIN

Professor, Doctor of Economics, Academician of the Russian Academy of Natural Sciences, Institute of Energy Research of the Russian Academy of Sciences.



ПЛАКИТКИНА Людмила Семеновна

к.т.н., член-корр. РАЕН, Института энергетических исследований РАН, Москва, Россия

Lyudmila S. PLAKITKINA

Ph.D., Corresponding member of the Russian Academy of Natural Sciences, Institute of Energy Research of the Russian Academy of Sciences.



ДЬЯЧЕНКО Константин Игоревич

ст. н. с. Центра исследования угольной промышленности мира и России Института энергетических исследований РАН, Москва, Россия

Konstantin I. 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.

Аннотация

Геополитические изменения и военные конфликты последнего времени существенно изменили не только мировые транспортные и торговые потоки, но и привели к глубоким структурным дисбалансам в энергопотреблении, особенно в Европе. Эти изменения связаны с действием как минимум сразу четырех глобальных мировых трансформаций: демографической, технологической, энергетической и политико-экономической. Указанные трансформации сильно влияют на развитие мировой энергетики. Они, по сути дела, выбивают традиционную энергетику из хозяйственного оборота мировой

экономики и приводят к росту применения альтернативной энергетики. В статье анализируются новые разломы мирового развития и неусвоенные уроки вчерашнего дня. Приведен нейросетевой прогноз плотности энергии применяемых энергоисточников и будущего потребления энергоресурсов, показаны возможные варианты развития мировой и российской энергетики, реализуемые в рамках прогнозного контура энергетики будущего.

Abstract

Geopolitical changes and military conflicts of recent times have significantly changed not only global transport and trade flows, but also led to deep structural imbalances in energy consumption, especially in Europe. These changes are associated with the action of at least four global world transformations at once: demographic, technological, energy and political-economic. These transformations have a strong influence on the development of global energy. They, in fact, knock traditional energy out of the economic turnover of the world economy and lead to an increase in the use of alternative energy. The article analyses new fault lines in global development and unlearned lessons of past time. A neural network forecast of the energy density of the energy sources used and future energy consumption is presented, possible options for the development of global and Russian energy, implemented within the framework of the forecast contour of the energy of the future, are shown.

Ключевые слова

Мировые трансформации, демографический, технологический и энергетический переходы, мировые патентные заявки, плотность энергии, закономерности развития, прогнозный контур развития энергетики.

Keywords

Global transformations, demographic, technological and energy transitions, global patent applications, energy density, patterns of development, forecast contour of energy development.

Введение

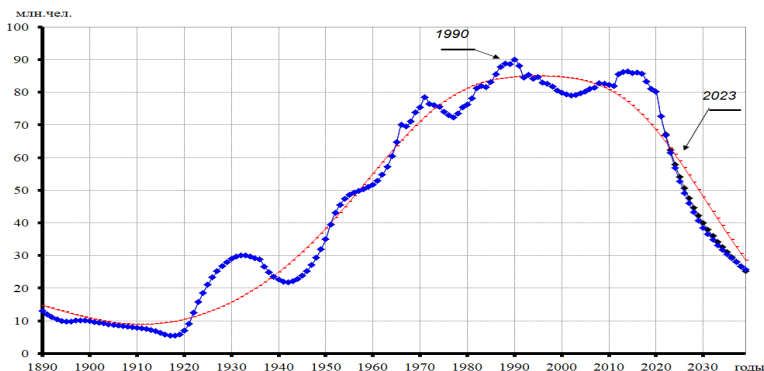
В последнее время, осуществляя прогнозы мирового потребления энергии, многие эксперты связывают его с энергетическим переходом. При этом некоторые из них отождествляют такой переход то с реализацией так называемой «климатической повестки», то с декарбонизацией мировой экономики и развитием «зеленой» энергетики, то со сменой одних источников энергии на другие. Да, все это, конечно, имеет место, но лишь отчасти. Дело в том, что помимо локальных переходов смены энергоисточников, происходящих в энергетике на протяжении многих лет и вовсе не связанных с изменением климата, существует еще и глобальный энергопереход, реализация которого сопровождается цивилизационными трансформациями: демографической, технологической и геополитической, воздействующими на будущий характер мирового развития. Надо иметь в виду, что для движения по дороге в будущий день, образно говоря, необходимо смотреть не только «себе под ноги», чтобы не упасть, а еще и вдаль, чтобы не ошибиться с

Новые разломы мирового развития

выбором дальнейшего пути 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» не просто будущего, а глубокого будущего развития энергетики.

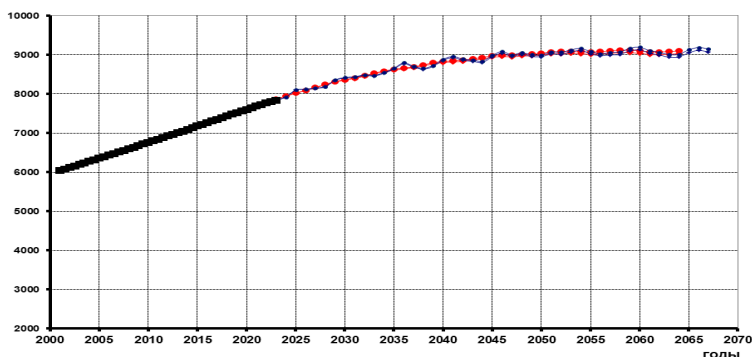
Следует иметь в виду, что будущее мировое развитие находится под воздействием четырех глобальных трансформаций, проявление которых мы ощущаем уже на современном этапе: демографической, энергетической, технологической и экономико-политической. Все эти трансформации, так или иначе, «выбивают» традиционную энергетику из хозяйственного оборота мировой экономики и приводят к росту применения альтернативных источников энергии. По всей видимости, самой главной глобальной трансформацией является демографическая (Бушуев, Клепач; 2023), (Plakitkin, 2023). Она связана с изменением численности населения Мира. Дело в том, что примерно к началу 90-х годов XX века 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 величины 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.



Источник: World Bank, ИНЭИ РАН

Рис. 1 – Динамика годового прироста численности населения мира

Для уточнения ее значений в перспективном периоде авторами статьи был выполнен нейросетевой прогноз динамики численности в XXI веке (Рис. 2).

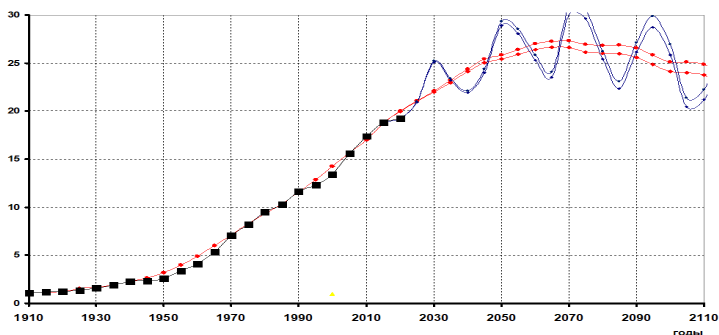


Источник: World Bank, ИНЭИ РАН

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

Как показали расчеты, вопреки мнению многих аналитиков, ожидающих рост численности населения мира в XXI веке, она в перспективном периоде, по всей видимости, расти не будет. В XXI веке численность 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 мировой экономики объемы использования в ней энергии, по всей вероятности, будут снижаться. Об этом свидетельствуют и результаты проведенного нами нейросетевого прогноза потребления энергии в XXI веке. Вопреки мнению ряда экспертов, потребление энергии в перспективном периоде не только не будет расти, наоборот: на рубеже 2050–2070 гг. достигнет стабилизации, после которой станет осуществляться ее системное снижение (Рис. 3).



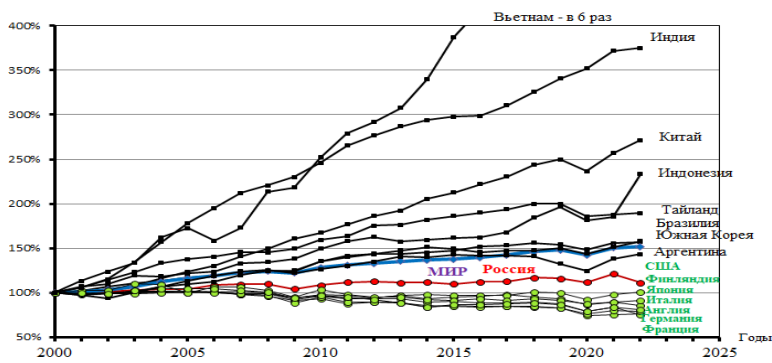
Источник: ВР, ИНЭИ РАН

Рис. 3 – Результаты нейросетевого прогноза коридора мирового потребления энергии (млрд. тунт)

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

Мировые тренды
прошедшего
периода и
неусвоенные
уроки для
будущего

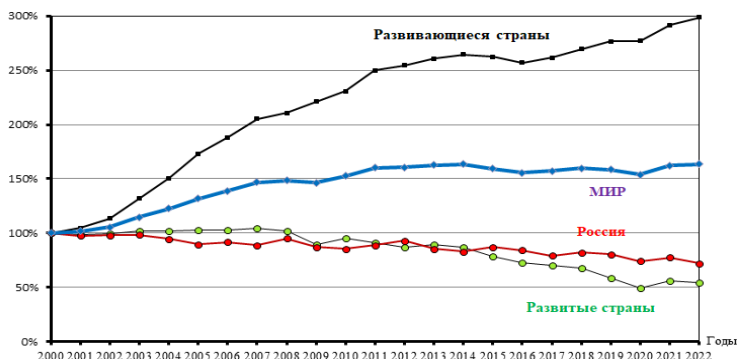
Развитые страны уже на протяжении более чем 20 лет планомерно снижают потребление энергии (Рис. 4) (ВР, 2022). Да, развивающиеся страны, в т.ч. Индия, Китай, Вьетнам еще активно наращивают это потребление, но и они, с учетом демографических и инновационно-технологических процессов, будут стремиться к стабилизации или даже снижению объемов использования энергии в прогнозный период. Конечно же, это снижение происходит, в первую очередь, за счет сокращения объемов использования традиционных энергоисточников.



Источник: ВР, ИНЭИ РАН

Рис. 4 – Динамика потребления энергии в странах мира, (2000 г. = 100%)

Так, развитые страны уже более 20 лет планомерно сокращают потребление угля (Рис. 5).

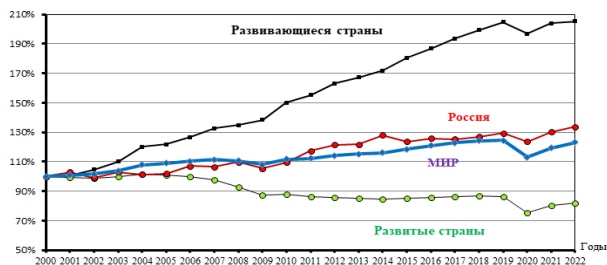


Источник: ВР, ИНЭИ РАН

Рис. 5 – Динамика потребления угля в странах мира, (2000 г. = 100%)

Даже развивающиеся страны, включая Китай и Индию, уже прекратили резкое наращивание темпов потребления угля (Плаkitкин, Плаkitкина, Дьяченко; 2024). В динамике его потребления развивающимися странами «проглядывается» явная «полка», за которой совершенно естественно будет осуществляться процесс неуклонного снижения. В целом, мировая экономика вышла на стабилизационное потребление угольных ресурсов еще в 2011–2012 гг. Россия, в целом, соответствует трендам потребления угля, установившихся в развитых странах, которые за последние 22 года почти в 2 раза сократили объемы его использования. Россия, за тот же период, снизила потребление угля примерно на 30–40%.

Развитые страны высокими темпами сокращают не только потребление угля, но и нефти. Так, за последние 22 года потребление нефти в этих странах снизилось почти на 20% (Рис. 6).



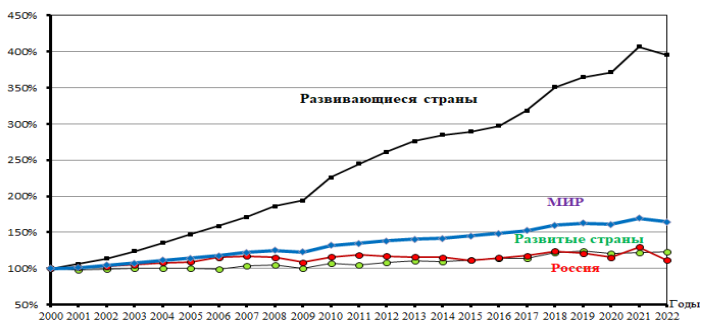
Источник: ВР, ИНЭИ РАН

Рис. 6 – Динамика потребления нефти в странах мира, (2000 г. = 100%)

За счет роста потребления нефти в развивающихся странах (примерно в 2 раза за последние 22 года) ее мировое потребление возросло примерно на 20%.

Россия пока не соответствует выше приведенным трендам и даже опережает общемировую тенденцию объемов использования нефти. За последний 22-летний период потребление нефти в России увеличилось более чем на 30%. Конечно же, развитие такой тенденции настораживает из-за её несоответствия мировому тренду на значительное расширение использования электрифицированного транспорта.

Даже в анализе потребления газа нельзя утверждать о долговременном его росте в перспективном периоде. Развитые страны за последние 22 года, хотя и увеличивали потребление газа, но темпы его роста были довольно умеренными. За указанный период времени оно повысилось не более чем на 20%. При этом, если совокупное потребление развитых стран рассмотреть дифференцированно, то можно констатировать, что страны Европы в целом не только не повышали, а наоборот – медленно снижали объемы использования газа в экономике. Да, развивающиеся страны пока достаточно высокими темпами увеличивали потребление газа. Так, за последний 22-летний период у них потребление газа возросло в среднем примерно в 4 раза (Рис. 7). Однако и они в перспективном периоде, под воздействием глобальных трансформаций, встанут на трек, подобный развитым странам. Россия в реализации тенденции потребления газа соответствует тенденциям развитых стран. Отметим, что последние, на протяжении всего рассматриваемого периода планомерно сокращали и потребление угля, и нефти, и даже газа.



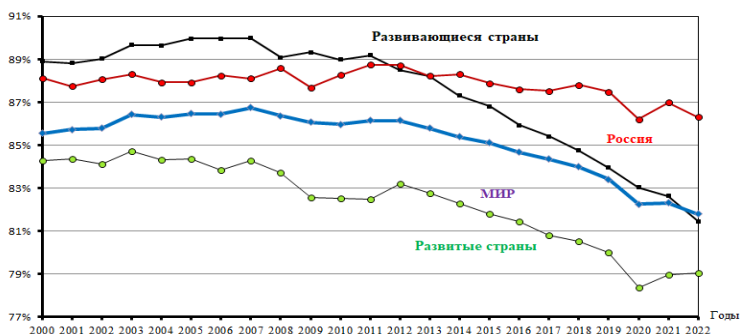
Источник: ВР, ИНЭИ РАН

Рис. 7 – Динамика потребления газа в странах мира, (2000 г. = 100%)

Очень часто от ряда политиков и экспертов можно услышать мнение о том, что страны Европы, отказываясь от российских энергоресурсов, и, в частности, газа, поступают весьма нерационально и, фактически, сами «стреляют себе в ногу». Если это и так, то они почему-то занимаются этим неблагодарным делом, уже на протяжении более 20 лет. Вероятно, органы государственного управления либо не замечали,

либо не хотели замечать этих долговременных тенденций и учитывать их при принятии решений. Конечно, можно заявлять о значительных потенциальных возможностях наращивания российского экспорта газа и других энергоресурсов. Но что будет с их перспективным потреблением? Долговременная тенденция сокращения использования традиционных энергоресурсов в Европе в какой-то мере объясняет ту легкость, с которой европейские страны отказались от российских углеводородов и, практически, бесконфликтно приняли ситуацию, связанную с подрывом газопровода «Северный поток – 2».

Отметим, что в целом доля невозобновляемых источников энергии в энергобалансах развитых странах за последние 22 года снизилась с 84% до 74%, т.е. примерно на 10% (Рис. 8). Доля мирового потребления невозобновляемых источников энергии примерно до 2013–2014 гг. находилась на «полке», равной 85–87%, но, начиная с 2014 г., она стала уменьшаться и в 2022 г. опустилась до значения 82%. Россия на протяжении всего 22-летнего периода, фактически, неизменно «держала» планку на уровне 86–88%. Несмотря на быстрый рост потребления газа, нефти и угля в развивающихся странах, доля невозобновляемых источников энергии в них не только не росла, а наоборот – уменьшалась. Так за последний 22-летний период эта доля со стабильного уровня, равного 90%, начиная с 2010–2011 гг. стала падать и к 2022 г. опустилась до отметки 82%.

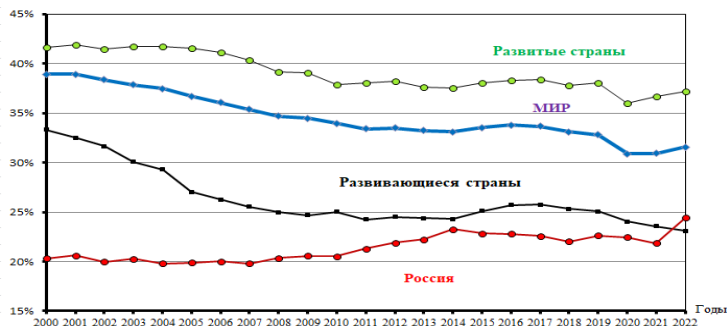


Источник: ВР, ИНЭИ РАН

Рис. 8 – Динамика долей невозобновляемых источников в энергобалансах стран мира

Такая динамика свидетельствует о серьезных намерениях этих стран по трансформации энергобалансов в сторону значительного увеличения доли возобновляемых энергоисточников. На фоне этого Россия контрастирует не только по отношению к развитым странам, но и в сравнении с развивающимися странами. Такая ситуация выглядит настораживающей. Долговременная ориентация России исключительно на невозобновляемые источники энергии делает ее развитие в перспективном периоде достаточно уязвимым. Более того, России, по всей видимости, следует обратить внимание на сформировавшуюся тенденцию роста доли потребления нефти в экономике. Она противоречит тенденциям, действующим как в целом по миру, так и по

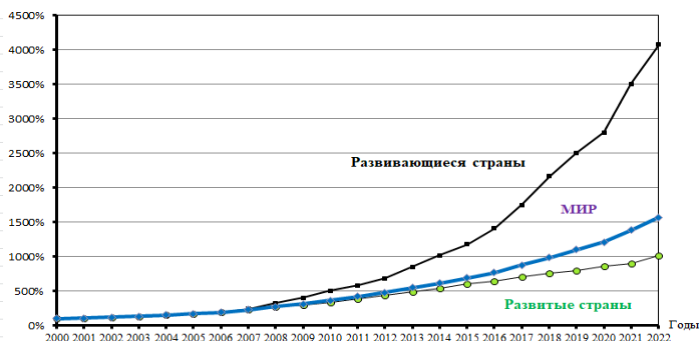
развитым странам и даже по развивающимся. В последних из них происходит планомерно-ускоренное снижение доли потребления нефти в энергобалансе (Рис. 9).



Источник: ВР, ИНЭИ РАН

Рис. 9 – Динамика доли нефти в энергобалансах стран мира

Так, за последние 22 года развитые страны сократили эту долю с 42% до 36–37%, т.е. на 5–6%, а развивающиеся – с 33–34% до 23–25%, т.е. примерно на 9–10%. Более высокий уровень снижения доли потребления нефти в развивающихся странах свидетельствует об амбиционных намерениях этих стран по переходу к возобновляемым источникам энергии и масштабной электрификации всех видов транспорта. Рост потребления энергии возобновляемых источников для развивающихся стран почти «взрывоподобен» (Рис. 10).



Источник: ВР, ИНЭИ РАН

Рис. 10 – Динамика потребления энергии возобновляемых источников в энергобалансах стран мира

Если развитые страны увеличили потребление энергии возобновляемых источников за 22-летний период в 10,9 раз, то

развивающиеся страны – более чем в 40 раз. Даже с учетом «проблемы низкого старта» рост потребления из этих источников по отношению к 2010 г. для развитых стран не добрал трехкратного увеличения, а для развивающихся стран он вырос в 8 раз. Это повлияло на быстрый рост доли возобновляемых источников энергии в энергобалансе развивающихся стран мира. Она повысилась в 2022 г. с примерно 10% (2000 г.) до 18–19% и приблизилась к значениям развитых стран мира (20–21%). Что касается России, то эта доля в рассматриваемом периоде находилась на уровне не более 12–14%. Фактически, «замороженная» доля возобновляемой энергетики в энергобалансе России свидетельствует о необходимости реализации своеобразного энергетического «скачка», преобразующего ее действующую энергетику. Такие возможности у России имеются в достаточном объеме особенно в наращивании компетенций по развитию ядерной и космической энергетики.

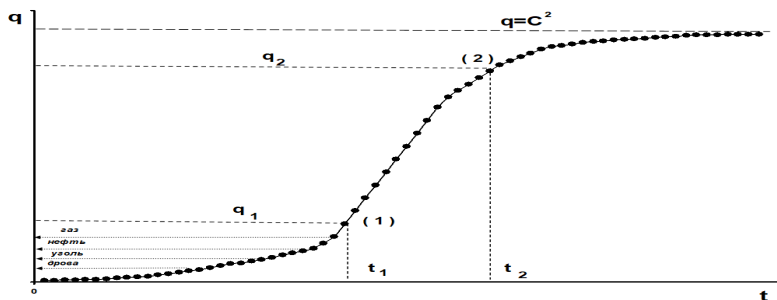
Единство системы
глобальных
переходов,
включая
энергетический и
технологический

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 ($k = 0,2$ туг/т), уголь ($k = 0,7$ туг/т), нефть ($k = 1,0$ туг/т), газ ($k = 1,8$ туг/т), водород ($k = 4,0$ туг/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 c^2 (квадрат скорости света) (Плакиткин, 2023).

Рост плотности энергии энергоисточников во времени, фактически, отражает закон сохранения энергии.



Источник: ИНЭИ РАН

Рис. 11 – Закономерность перманентного роста плотности энергии применяемых энергоисточников

Полная энергия применяемых энергоисточников состоит из суммы реализуемой энергии и потенциально еще нереализованной энергии:

$$W = E + P \quad (1)$$

При этом реализуемая энергия определяется как:

$$E = q \cdot m, \quad (2)$$

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

Потенциальная же, нереализованная энергия может быть определена на основе равенства:

$$P = \Delta q \cdot m, \quad (3)$$

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.

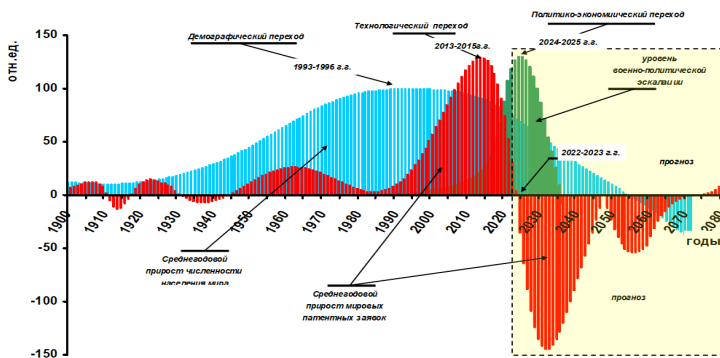
В этой связи глобальный энергопереход, который в настоящее время реализуется в мировой экономике: переход от нижней «горизонтальной платформы» движения (до точки 1) в зону вертикальной эскалации (точка 2) – это огромный «скачок» мощности развития.

Такой переход происходит один раз за все время существования человеческой цивилизации. 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 конфронтации 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-х – 40-х годов началась на базе плана ГОЭЛРО, т.е. построение новой энергетики, активно использующей гидрогенерацию (Галушка, Ниязметов, Окулов; 2021). 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 между собой глобальных переходов: демографического, энергетического, технологического и политико-экономического (Рис. 12).



Источник: ИНЭИ РАН

Рис. 12 – Закономерность реализации глобальных мировых трансформаций

Демографический переход «тянет» за собой энергетический переход (оценен по динамике интенсивности мировых патентных заявок) (WIPO Statistics), 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 так же, как и в энергетике, в настоящий период времени происходит «переполусовка» мирового технологического развития (годовой

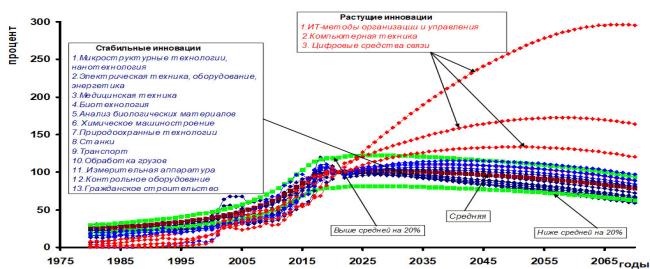
прирост мировых патентных заявок переходит в отрицательную зону).

Суть такого перехода – изменение парадигмы технологического развития. Если во времена 1-й, 2-й и 3-й мировых промышленных революций производительность труда росла за счет расширения механизации ручного труда, то теперь этому наступил предел.

Цивилизация, реализуя 4-ю 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, все же, в ближайшей перспективе будет снижаться. Политико-экономическое развитие также входит в фазу качественного изменения своего состояния.

Существует ли подтверждение выше приведенной динамике 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, 4-я 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).



Источник: WIPO, ИНЭИ РАН

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

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

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.

**Закономерность
роста плотности
энергии
энергоисточников
и мировой
транспортно-
коммуникацион
ный переход**

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. Собственно, 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 $1,5 \div 2$. Это значит, что на участке вертикальной эскалации вышеназванного показателя следует ожидать весьма значительный рост производительности труда, превышающий 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.

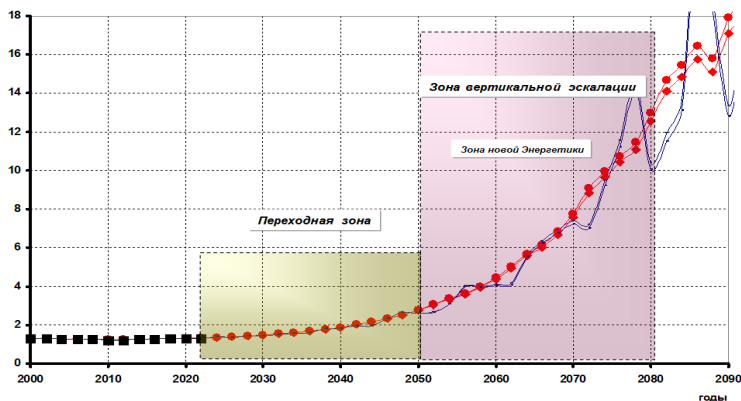
Так, по нашим оценкам, плотность энергии солнечных и ветровых энергоисточников эквивалентна величине, примерно, равной $4 \div 6$ туг/т. Для сравнения плотность энергии газа составляет около 1,8 туг/т. Эти источники, а также развитие ядерной энергетики обеспечивают переход в зону высоких значений плотности энергии.

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

В прогнозном периоде можно выделить две зоны изменения плотности энергии:

I период – переходная зона;

II период – зона вертикальной эскалации.



Источник: ИНЭП РАН

Рис. 14 – Результаты нейросетевого прогноза роста плотности энергии применяемых энергоисточников, (тут/т)

В переходной зоне плотность энергии (в целом по миру) увеличивается с действующего уровня $1,1 \div 1,3$ тут/т до $2,5 \div 3$ тут/т к 2050 г., т.е. за весь переходный период времени в $2,5 \div 3$ 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.

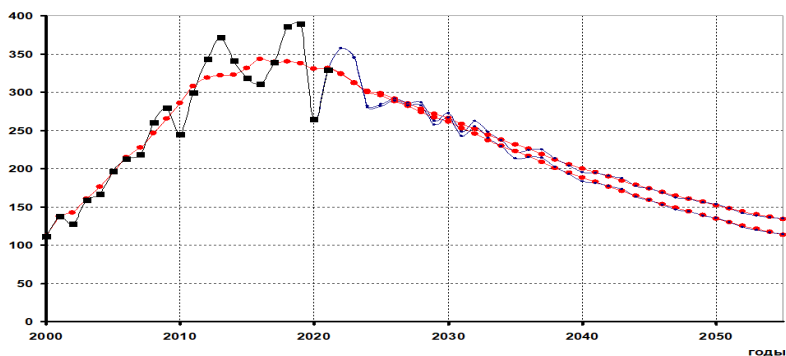
Альтернативная энергетика выйдет к окончанию переходного периода на так называемый «энергетический крест» (см. далее рис. 24), после которого возникнет ее абсолютное доминирование. Однако эта альтернативная энергетика будет существенным образом отличаться от ныне действующей. Она должна соответствовать достижению высоких и очень высоких плотностей энергии. Уже в 2060–2070 гг. средняя плотность энергии по сравнению с существующим уровнем, по нашим оценкам, увеличится примерно в 6 раз и составит $6 \div 7$ тут/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 энергетике с развертыванием космических группировок из солнечных электростанций на орбите Земли. И в этом будет большая необходимость.

Дело в том, что 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 $6 \div 7$ раз следует ожидать рост средней скорости перемещения более чем в 10 раз. Если оценить действующую среднюю скорость как $80 \div 100$ км/ч, то в 2060–2070 гг. эта скорость должна достигнуть величин, не менее $800 \div 1000$ 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 должна обеспечиваться энергией, получаемой за счет генерирования ее орбитальными электростанциями, передающих энергию для летательных аппаратов дистанционно.

Освоение Космоса во многом даст новый импульс развитию энергетических технологий, в т.ч. используемых в повседневной 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.

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).



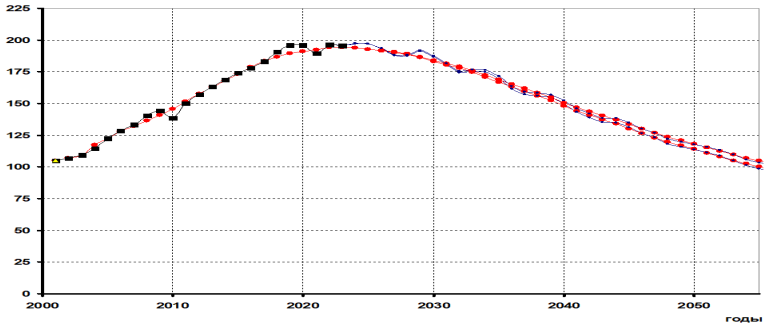
Источник: ООН, ИНЭИ РАН

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

В соответствии с результатами нейросетевого прогноза установлено, что после периода начала 20-х годов XXI века объем грузов, перевозимых железнодорожным транспортом, будет планомерно снижаться. К 2050 г. он по сравнению с достигнутым 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 2020-2022гг. 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 $39 \div 42\%$.



Источник: ООН, ИНЭИ РАН

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

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 занимает доставка нефти, нефтепродуктов, сжиженного природного газа и угля. Однако в связи с энергетическим переходом экономики в зону вертикальной 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 (Стоянов, Харитонов; 2024).

Угольная ТЭС той же мощности потребляет ежесуточно два 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

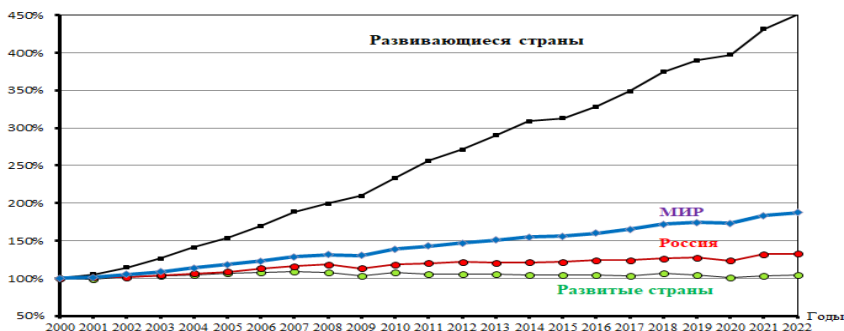
мере грузы станут малотоннажными, малогабаритными и более пригодными для доставки аэрокосмическим транспортом. Развитие аэрокосмического транспорта во все большей мере будет сочетаться с прогрессом в технологиях орбитальной энергетики.

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, конечно же, необходимо делать акцент на формирование 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. Скорей всего, транспортно-коммуникационная система будущего должна стать комбинированной. В ней небольшие территориальные зоны должны обслуживаться недлинными скоростными железнодорожными магистральями, 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 весьма большого запроса на развитие аэрокосмических технологий и космодромной инфраструктуры. Ни одна европейская страна из-за несопоставимо малых по сравнению с Россией размеров территорий не обладает таким потенциалом запроса на развитие выше названных коммуникаций. Большая территория России, как оказывается, является мощным фактором технологического и экономического развития страны.

В этой связи отразно отметить намерения Правительства РФ «двигаться» в названном направлении. Так, на одном из заседаний комитета Госдумы вице-премьер Д.В. Мантуров заявил, что перевод российской экономики на новый технологический уклад потребует усиления позиций страны в космосе (Лисицына, 2024). Для этого господдержка будет сфокусирована на расширении спутниковых 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 (Костерева, 2024). На наш взгляд, это весьма важные шаги для формирования нового технологического облика экономики и энергетики России.

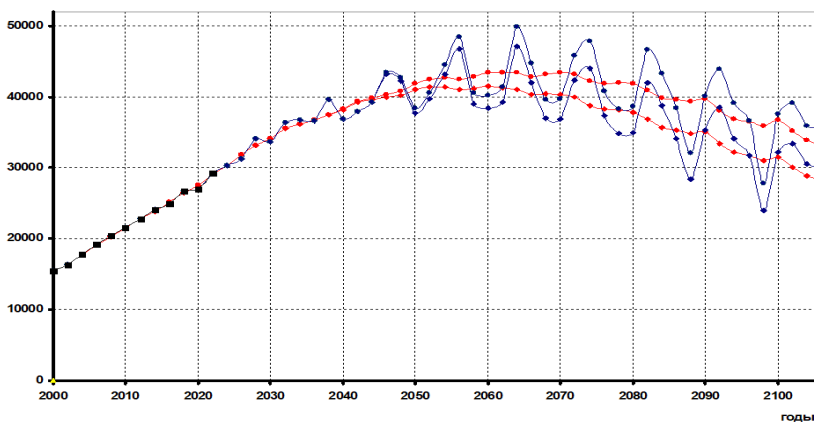
Анализ тенденций предшествующего 22-летнего периода дает фактически однозначное понимание того, что на протяжении более 20 лет в мировой энергетике системно формировался энергетический переход. Его точкой отсчета можно считать период 2013–2014 гг., когда доля невозобновляемых источников энергии в мире 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 эти объемы постепенно снижались. Рост мировой генерации электроэнергии происходил в основном за счет ее высоких темпов в развивающихся странах (Рис. 17).



Источник: ВР, ИНЭИ РАН

Рис. 17 – Динамика производства электроэнергии в странах мира

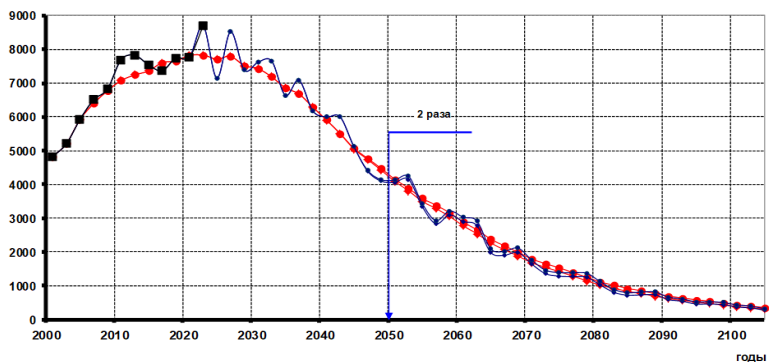
За этот период объем генерирования в развивающихся странах увеличился в 4,5 раза, а в целом по всем странам мира примерно в 1,9 раза. Вероятнее всего, такие значительные темпы повышения объемов генерирования электроэнергии в развивающихся странах определяли высокие темпы роста ВВП этих стран. Однако наметившиеся структурные трансформации в мировой динамике объемов генерирования электроэнергии, фактически, предопределяют 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. 18).



Источник: ВР, ИНЭИ РАН

Рис. 18 – Результаты нейросетевого прогноза коридора мировых объемов генерирования электроэнергии (Terawatt-hours)

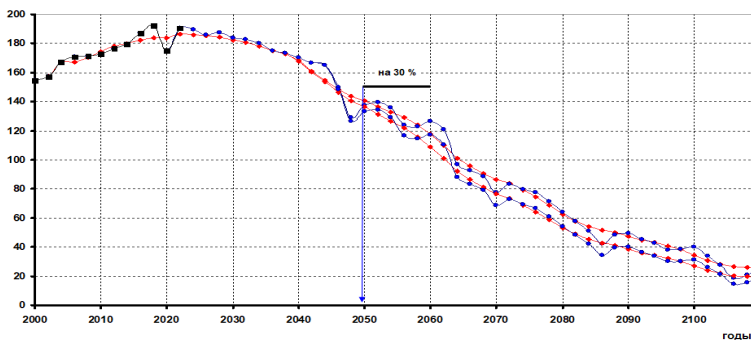
По всей видимости, к этому периоду развивающиеся страны повторяют тренд развитых стран, реализованный в 2000–2022 гг. За пределами 70-х годов XXI века объемы генерирования электроэнергии вообще, вероятнее всего, будут сокращаться. Конечно, это выглядит немного парадоксальным, ведь к середине века должна значительно увеличиться глубина электрификации быта и всех видов транспорта. Кроме того, рост интеллектуализации приведет к существенному увеличению применения сверх мощной вычислительной техники, требующей электроэнергию. Да, это так. Однако в указанном периоде параллельно будут активно развиваться процессы, основанные на применении квантовых технологий и фотоники. Последние существенно образом повысят электроэффективность во всех секторах экономики. Кроме того, появятся более энергоэффективные новые ее сектора. В предстоящем периоде стабилизация и дальнейшее снижение потребления энергии и даже электроэнергии будет 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.19).



Источник: ВР, ИНЭИ РАН

Рис. 19 – Результаты нейросетевого прогноза коридора мировых объемов добычи угля (млн т)

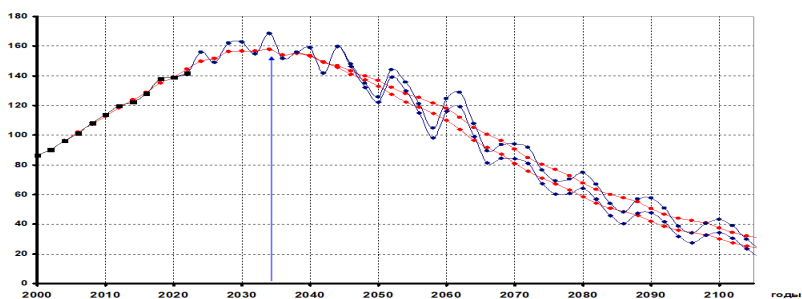
Примерно, такие же тенденции, с небольшим отличием, характерны и для мирового потребления нефти. Так, если стабилизационный период объемов мировой добычи угля будет длиться примерно до 2025–2030 гг., то подобная фаза для потребления нефти продолжится до 2030–2035 гг. (Рис. 20).



Источник: ВР, ИНЭИ РАН

Рис. 20 – Результаты нейросетевого прогноза коридора мировых объемов потребления нефти (Ехajoules)

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. 21).

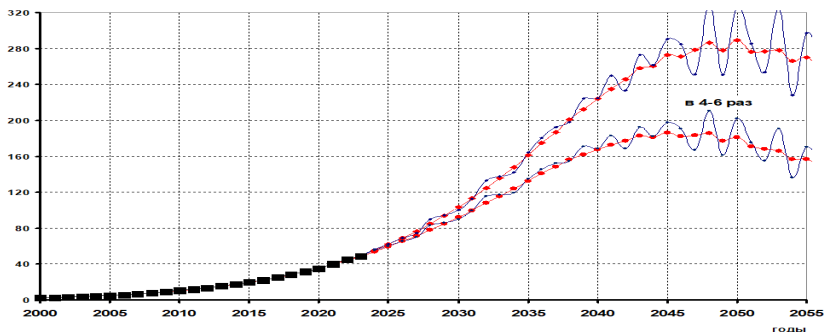


Источник: ВР, ИНЭИ РАН

Рис. 21 – Результаты нейросетевого прогноза коридора мировых объемов потребления газа (Exajoules)

В период 2030–2035 гг. его потребление достигнет наибольшего значения и будет примерно до 2040 г. находиться на стабилизационном уровне. За пределами этого срока возможно системное снижение потребления газа. В конце XXI века 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 века увеличится в 4–6 раз (Рис. 22).

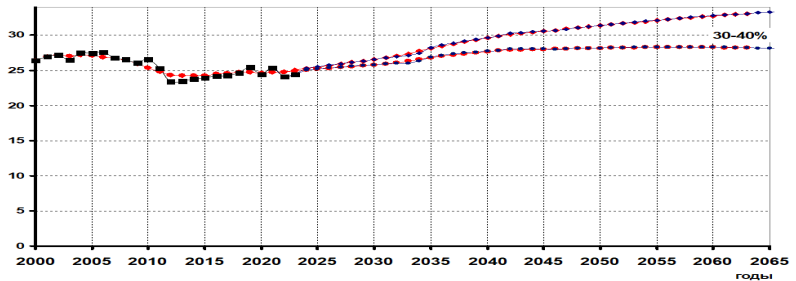


Источник: ВР, ИНЭИ РАН

Рис. 22 – Результаты нейросетевого прогноза коридора мирового потребления энергии ВИЭ (Exajoules)

Удешевление технологий ВИЭ, а также возможность их комбинирования с накопителями энергии и интеграции в общую энергосистему традиционной энергетики значительно увеличивают

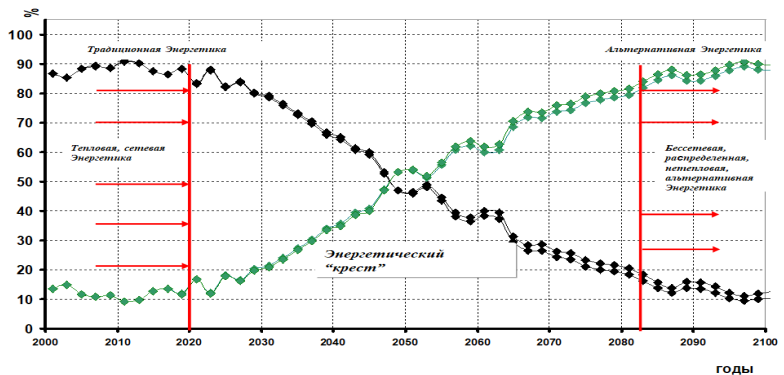
их долю в мировом топливно-энергетическом балансе. Наряду с этим, после периода «охлаждения» (2010–2020 гг.) к использованию ядерной генерации, стало вновь возрождаться понимание ее важности в развитии будущей мировой энергетики. В соответствии с результатами нейросетевого прогноза, объемы мирового потребления энергии АЭС к середине периода могут увеличиться на 30–40% (Рис. 23).



Источник: ВР, ИНЭИ РАН

Рис. 23 – Результаты нейросетевого прогноза коридора мирового потребления энергии АЭС (Exajoules)

С ростом объемов альтернативных энергоисточников энергетика стала переходить из одного состояния в другое, качественно-противоположное. В настоящее время происходит «переполнюсовка» развития энергетики. Эта «переполнюсовка», фактически, и означает энергопереход – переход к новому качеству развития энергетики (Рис. 24).



Источник: ВР, ИНЭИ РАН

Рис. 24 – Результаты нейросетевого прогноза долей в мировом энергобалансе традиционной и альтернативной энергетики

Если в 2020 г. энергетика являлась, в основном, традиционной, базирующейся на тепловой генерации больших мощностей и разветвленной сетью 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 периода трансформации энергетики. Первый 30-летний период, в котором традиционная энергетика, снижаясь, все же остается доминирующей, и последующий за этим тоже 30-летний 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 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.

Оценка вариантов развития энергетики России

В текущий переломный период времени важно понять: к какому «образу будущего», в том числе, технологическому, необходимо стремиться российской экономике. Какую Энергостратегию необходимо «закладывать» в программные установки Правительства РФ в условиях объявленного "разворота" на Восток. В настоящее время, под воздействием такого разворота и наличия больших запасов энергоресурсов в общественное сознание во все большей мере насаждается достаточно ироничное отношение к альтернативной энергетике. При этом на высоком уровне провозглашается необходимость перехода к так называемой модели «опережающего» развития российской экономики. Очевидно, предполагается, что она будет «опираться» на традиционную энергетику. На самом деле российская энергетика стоит перед выбором: у нее два принципиально возможных варианта развития (рис.25):

- вариант 1 – « Движение в сторону традиционной энергетики» (q – плотность энергии энергоисточников, изменяющаяся по времени – t).

Этот вариант (горизонтального развития), предполагающий дальнейшее развитие традиционной энергетики путем наращивания инвестиций в разведку и разработку месторождений.

- вариант 2 – «Движение в сторону опережающего развития новых энергоисточников». Этот вариант (вертикального развития), предусматривающий весьма интенсивное (опережающее) освоение энергетических технологий, основанных на применении источников с высокими и очень высокими плотностями энергии.

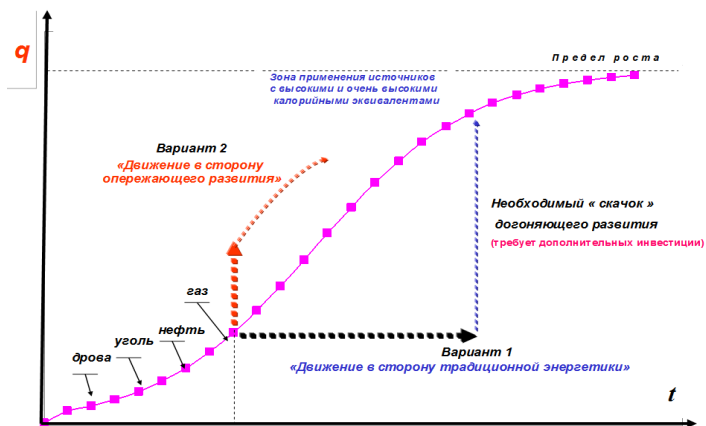


Рис. 25 – Варианты развития энергетики России

Если тратить инвестиции, в основном, на горизонтальное движение в сторону традиционной энергетики (вариант 1), то это приведет к консервации роста плотности энергии (ρ), и, следовательно, к отсутствию роста производительности труда и применения новых технологий. Это путь технологической деградации экономики, предусматривающий лишь тиражирование старых технологий. В стратегическом плане он, конечно же, не сможет обеспечить реализацию модели «опережающего» развития экономики. Более того, чем дольше будем идти по этому пути, тем существенней будет отрыв от траектории цивилизационного развития глобальной энергетики. В какой-то момент времени все равно придется потратиться на необходимый вертикальный «скачок» догоняющего развития, приближающий страну к глобальной траектории развития. Реализация такого «скачка» потребует серьезных усилий и значительных инвестиционных затрат. В данном случае можно потратиться дважды – это крайне неэффективный вариант. Вариант 2 – это ускоренное «движение» в сторону альтернативной энергетики формирующейся за счет применения энергоисточников, обеспечивающих высокую плотность энергии. Такой вариант развития предполагает высокий уровень инвестиций в новые энергетические технологии. Да, он может обеспечить в стратегическом плане «опережающее развитие экономики», но требует времени и, главное, существенных источников для его реализации. Конечно же, игнорировать текущий мировой спрос на традиционные энергоносители и наличие значительных запасов углеводородного топлива в стране весьма нецелесообразно. В тактическом плане опора на традиционную энергетику является необходимой. В этой связи Вариант 2 тоже мало приемлем для российской экономики. Нам необходим третий вариант – комбинированный. Он предполагает за счет опоры на сектора традиционной энергетики, на базе ее производственных мощностей,

инвестиционных и интеллектуальных ресурсов, осуществление перехода на использование опережающих энергоисточников. Этот вариант предусматривает проведение глубокой целевой реструктуризации отраслей традиционной энергетики. Она должна, по-нашему мнению, осуществляться на основе целевых индикативных планов по диверсификации производства, контролируемых государством.

Возможный контур развития будущей энергетики

Проведенные расчеты плотности энергии энергоисточников ориентируют на существенную трансформацию мирового энергетического баланса. Так, высокая плотность энергии энергоисточников, прогнозируемая к концу XXI века при почти полном исчерпании возможностей традиционной энергетики свидетельствует о значительные доли ядерных и, вероятно, термоядерных источников 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 века 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. 16). 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 (Юрков, 2024). 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 две большие задачи: обеспечение экологической чистоты и достижение энергетического изобилия, фактически 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 намерения Японии, в которой активно ведется работа по созданию небольших (до 300 МВт) ядерных установок. При этом важное значение придется 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 (Обухов, 2024).

Развитие малой термоядерной энергетики прямого преобразования энергии, вероятнее всего, будет представлять собой наиболее перспективное направление. В целом энергетика, по всей видимости, будет преобразоваться 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 ядерной энергетики. 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 прогнозные контуры, но и они представляют собой значительную ценность в определении стратегических путей развития энергетики.

Заключение

Многие исследователи в последнее время стали осознавать, 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. (ТАСС, 2024).

Такое решение заслуживает одобрения, поскольку оно соответствует задачам энергетического и технологического перехода, обуславливающих существенный рост темпов научно-технологического развития. 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 будут 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 разработки 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÷120 лет. Остается вопрос: зачем современному обществу, планирующем свою производственно-

хозяйственную деятельность на 10–20 лет, интенсивно формируется запрос на длительный срок прогнозирования? В какое длительное "путешествие", 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 такой большой глубине прогнозирования становится невозможным использование экономических оценок принимаемых решений. Нельзя, например, определить уровень инфляции или уровень цен на 100 лет вперед. Такое положение требует, чтобы оценки необходимости реализации проектов основывались на использовании фундаментальных категорий развития таких как материя (m), пространство (S) и время (t). Удивительным образом эти категории комплексно аккумулируются в показателе «энергия»:

$$E = m \cdot S^2 / (2 \cdot t^2) \quad (4)$$

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.

Литература/ References

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 [Bushuev V.V., Klepach A.N. On the way to a cosmoplanetary civilization // Collective monograph - M.: ID "Energia". 2023 - 688 p. DOI: 10.5281/zenodo.7684441 EDN: YQGWFC. (in Russian)].
2. Галушка А.С., Ниязметов А.К., Окулов М.О. Кристалл роста к русскому экономическому чуду. — М., 2021. — 360 с., илл. ISBN 978-5-9243-0299-7 [Galushka A.S., Niyazmetov A.K., Okulov M.O. A growth crystal for the Russian economic miracle. - M., 2021. - 360 pp., ISBN 978-5-9243-0299-7 (in Russian)].
3. Костерева М. «Путин поручил расширить наш проект по развитию космической сферы» <https://www.kommersant.ru/doc/6467847> [Kostereva M. "Putin ordered to expand the national project for the development of the space sector" <https://www.kommersant.ru/doc/6467847> (in Russian)].
4. Лисицына М. «Мантуров объявил о переводе экономики на новый технологический уклад», РБК, 12 мая 2024 г., <https://www.rbc.ru/economics/12/05/2024/6640e7c49a79479eaf1ce780> [Lisitsyna M. "Manturov announced the transition of the economy to a new technological order", RBC, May 12, 2024, <https://www.rbc.ru/economics/12/05/2024/6640e7c49a79479eaf1ce780> (in Russian)].
5. Обухов К. «Новая генерация: как формируется рынок малых атомных электростанций», РБК-Отрасли, 15 декабря 2023 г., <https://www.rbc.ru/industries/news/657c257c9a79476689b6c05b> [Obukhov K. "New generation: how the market for small nuclear power plants is being formed", RBC-Industries, December 15, 2023, <https://www.rbc.ru/industries/news/657c257c9a79476689b6c05b> (in Russian)].
6. Плаkitкин Ю.А., Плаkitкина 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 [Plakitkin Yu.A., Plakitkina

L.S., Dyachenko K.I. "Modern trends and forecast for the development of the coal industry of the world and Russia in the context of the transformation of the world economy. Part 1. Established trends in the functioning of the coal industry of the world and Russia since the beginning of the 21st century" // "Coal". No. 3. 2024. pp. 44-51 (in Russian)].

7. Плаkitкин 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. [Plakitkin Yu.A. Global energy transition in the transformations of world development, tasks for adaptation of the fuel and energy complex industries of Russia // In the collection "Technological development of the fuel and energy complex industries to achieve carbon neutrality of the Russian economy" - М.: MPEI Publishing House. INEI RAS. 2023. P. 52-60 (in Russian)].

8. Стоянов А.Д. Харитонов В.В. «Потенциал развития ядерной энергетики в Узбекистане» // Экономические стратегии, 2024, № 1 (193), с. 26-35 [Stoyanov A.D., Kharitonov V.V. "Potential for the Development of Nuclear Energy in Uzbekistan" // Economic Strategies, 2024, No. 1 (193), pp. 26-35 (in Russian)].

9. ТАСС (2024). Глава Минэнерго планирует разработать стратегию развития энергетики РФ до 2100 года, ТАСС, 21 мая 2024 г. <https://tass.ru/ekonomika/20859233> [TASS (2024). The head of the Ministry of Energy plans to develop a strategy for the development of the Russian energy sector until 2100, TASS, May 21, 2024 <https://tass.ru/ekonomika/20859233> (in Russian)].

10. Юрков С.Э. «Почему атомный ренессанс так отчаянно важен для будущего Японии» // Экономические стратегии, 2024, №1 (193), с. 18-25 [Yurkov S.E. "Why the Nuclear Renaissance is so Desperately Important for Japan's Future" // Economic Strategies, 2024, No. 1 (193), pp. 18-25 (in Russian)].

11. BP Statistical Review of World Energy 2022. Дата обращения: 25.06.2024

12. Plakitkin Yu. A. (2023). "Energy and world development forecast in XXI century" // "Methodological Problems in Reliability Study of Large Energy Systems". Rudenko International Conference, 2023, Irkutsk

13. WIPO Statistics. <https://www.wipo.int/patents/ru/patent-information.html> Дата обращения 21.03.2024