

Проект

УТВЕРЖДЕН  
Приказом Министра энергетики  
Российской Федерации

от \_\_\_\_\_ г. № \_\_\_\_\_

**Прогноз научно-технологического развития  
отраслей ТЭК России на период до 2035 года**

## **Введение**

1. Актуализация Прогноза научно-технологического развития отраслей топливно-энергетического комплекса России на период до 2035 года, утвержденного Министром энергетики Российской Федерации 14.10.2016 (далее – Прогноз-2016), имеет целью учесть изменения во внешних и внутренних условиях и тенденциях развития российской экономики и энергетики, уточнить и скорректировать возможности и направления научно-технологического развития отраслей топливно-энергетического комплекса Российской Федерации (далее – ТЭК).

2. Нормативно-правовой базой Прогноза является Федеральный закон от 28.06.2014 № 172-ФЗ «О стратегическом планировании в Российской Федерации», постановление Правительства Российской Федерации «Об утверждении Правил разработки и корректировки прогноза научно-технологического развития Российской Федерации» от 13.07.2015 № 699.

3. Перечень документов стратегического планирования Российской Федерации, учтенных при актуализации Прогноза-2016, включает:

Указ Президента Российской Федерации от 21.07.2020 № 474 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года»;

Стратегию национальной безопасности Российской Федерации, утвержденную Указом Президента Российской Федерации от 02.07.2021 № 400;

Стратегию научно-технологического развития Российской Федерации, утвержденную Указом Президента Российской Федерации от 01.12.2016 № 642;

Стратегию экономической безопасности Российской Федерации на период до 2030 года, утвержденную Указом Президента Российской Федерации от 13.05.2017 № 208;

Доктрину энергетической безопасности Российской Федерации, утвержденную Указом Президента Российской Федерации от 13.05.2019 № 216;

Энергетическую стратегию Российской Федерации на период до 2035 года, утвержденную распоряжением Правительства Российской Федерации от 09.06.2020 № 1523-р;

Стратегический прогноз Российской Федерации на период до 2035 года, одобренный на оперативном совещании Совета Безопасности Российской Федерации 22.02.2019;

Прогноз социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2036 года, утвержденный на заседании Правительства Российской Федерации 22.11.2018;

Прогноз социально-экономического развития Российской Федерации на 2021 год и на плановый период 2022 и 2023 годов, разработанный Минэкономразвития России с учетом кризисных явлений в отечественной экономике, имевших место в январе-августе 2020 года и представленный в Правительство Российской Федерации в октябре 2020 года;

Прогноз научно-технологического развития Российской Федерации на период до 2030 года, утвержденный Председателем Правительства Российской Федерации 03.01.2014 № ДМ-П8-5;

другие документы стратегического планирования Российской Федерации, а также документы, обеспечивающие их реализацию.

4. Как при разработке, так и при актуализации Прогноза учитывались принципиальные связи технологического развития энергетики страны с научно-технологическим развитием Российской Федерации и с обеспечением национальной безопасности, в том числе энергетической безопасности.

5. В Прогнозе-2016 в качестве ключевых вопросов дальнейшего развития мировой энергетики указаны: уровень цен и спрос на нефть, темпы развития возобновляемой энергетики и жесткость «климатических ограничений», и в зависимости от того или иного ответа на указанные вопросы рассматривались три возможных сценария развития энергетики: «Новая эпоха углеводородов», «Эпоха низких цен на углеводороды» и «Энергетическая революция».

При актуализации Прогноза-2016 последний сценарий разделился на два: «Форсированный энергопереход» и «Сбалансированный энергопереход», а два других сценариях трансформировались в сценарии «Энергетическая эволюция» и «Энергетическая сингулярность».

6. В Прогнозе-2016 много внимания было уделено техническому состоянию и производственным параметрам отраслей ТЭК, настоящий прогноз посвящен, в основном, тенденциям, событиям и перспективам технологического развития.

7. При актуализации Прогноза-2016 в основном сохранена методология, структура и основные положения, учтен опыт его разработки и результаты мониторинга в 2019 году.

## **1. Мировые тенденции, влияющие на развитие энергетики, вызовы, угрозы и риски в сфере энергетики**

### **Глобальные тенденции**

8. В состав развернувшегося во второй декаде XXI веке движения к новому, устойчиво развивающемуся или «зеленому» миру в экономическом плане принято включать три процесса: децентрализацию, декарбонизацию и диджитализацию (сокращенно «Три Д»). В сфере энергетики перечисленные процессы объединяются под названием «энергетический переход» (далее – энергопереход).

9. Прогнозируется, что глобальный энергопереход к 2040 году существенно изменит структуру спроса на энергоресурсы. В частности:

спрос на нефть в базовых сценариях прогнозируется в пределах 97-114 мбс против 100-102 мбс в 2019 году, в наиболее амбициозных сценариях глобального «озеленения» потребление нефти сократится до 74-87 мбс;

спрос на газ в базовом случае будет около 5 – 5,2 трлн куб. м против 4 трлн куб. м в 2019 году, в амбициозных сценариях спрос сократится до 2,9 – 3,5 трлн куб. м;

спрос на уголь снижается во всех рассматриваемых прогнозах: в наиболее оптимистичном случае до 6 188 млн т (снижение на 218 млн т относительно 2019 года), или в наиболее неблагоприятном случае до 2 313 млн т.

10. В качестве оснований, драйверов и условий указанных «Трех Д» выступают другие глобальные процессы (тенденции), на которые они, в свою очередь, также оказывают влияние. Эти глобальные тенденции указаны в Прогнозе-2016 года и включают в себя:

1) в окружающей среде:

климатические изменения и рост экстремальности погодных условий, включая увеличение количества осадков в зонах влажности и их уменьшение в зонах с низким уровнем годовых осадков, увеличение частоты ураганов, тайфунов, засухи и прочих стихийных бедствий, возрастание их разрушительной силы и масштаба наносимого ущерба;

истощение доступных природных ресурсов, обеспечивающих население питьевой водой, продовольствием и энергией;

рост антропогенного, в том числе мутагенного, загрязнения окружающей среды, порождающего, среди прочего, угрозы новых эпидемий и пандемий, ухудшение генофонда человека и других живых существ;

2) демография:

замедление роста населения, старение населения и формирование гендерного дисбаланса;

увеличение географического дисбаланса прироста населения;

усиление региональной и трансконтинентальной миграции;

урбанизация;

3) социальная сфера:

рост и консолидация глобального «среднего класса»;

диверсификация социальной структуры и увеличение социальной нестабильности, в том числе распространение разного рода криминального и девиантного поведения;

углубление кризиса базовых социальных институтов и систем;

4) geopolitika:

нарастание глобальной политической нестабильности с периодическим перерастанием в открытые конфликты в различных регионах земного шара;

расширение спектра и возрастание роли geopolитических и/или геоэкономических коалиций, придерживающихся принципа конкурентного исключения;

использование глобальных и/или региональных инфраструктур в качестве инструментов контроля и политического влияния;

политизация видения будущего, то есть использование прогнозируемых будущих ситуаций в качестве оснований для военных, политических и экономических решений и превентивных действий;

5) экономика:

нестабильный, сравнительно медленный и регионально неоднородный экономический рост;

усугубление структурных диспропорций в экономике, включая диспропорции реальных и финансовых (портфельных) инвестиций, экономического роста, долга, инфляции, монетарной политики и цен на активы;

формирование новой архитектуры мировой экономики и переопределение ее правил;

политизация экономических отношений;

6) Техносфера:

формирование новых мировых центров научно-технологического развития и ужесточение технологической конкуренции;

развитие ряда «подрывных» направлений научно-технологического развития;

7) энергетика:

снижение энергоемкости мирового экономического роста;

трансформации глобального спроса на энергию и мировой торговли энергоресурсами;

ужесточение экономических условий развития мировой нефтяной и газовой промышленности;

изменение глобального топливно-энергетического баланса и возрастание межтопливной конкуренции;

изменение приоритетов в повестке энергетической безопасности, в частности, рост значимости электроэнергетики;

возрастание роли новых технологий в развитии энергетики.

11. Практически все перечисленные тенденции, а также оценки состояния и тенденций развития мировой и российской энергетики, сформулированные в Энергетической стратегии, сохраняют свою актуальность. Особенностью периода с 2016-го по 2021 год является обострение, ускорение, ужесточение и повышение значимости некоторых из них. В частности, существенно ухудшились экономические и политические условия для угольной отрасли.

12. Наиболее заметным стал выход в лидеры международной политики и общественного внимания темы климатических изменений и связанных с ними действий в сферах экономики, энергетики, политики и социальной сферы.

В частности, произошел неявный отказ от принципа неделимости комплекса 17-ти Целей устойчивого развития ООН в пользу Цели № 13 – Сохранение климата, результатом чего стало выдвижение идеологии декарбонизации на первое место глобальной повестки.

13. Наиболее чувствительным для мировой энергетики в целом, и российской в особенности, стали:

сдвиг от мягких инициатив и добровольных правил в сфере защиты климата в сторону достаточно жесткой системы регулирования (в том числе налогового);

распространение контроля за выбросами парниковых газов и углеродным следом на всю цепочку создания стоимости;

изменения в сфере глобальных инвестиций, включающие в себя сворачивание крупными институциональными инвесторами (инвестиционные фонды, пенсионные фонды, страховые компании и др.) вложений в угольные, нефтяные и газовые проекты в пользу проектов на основе ВИЭ с учетом экологических, социальных и управлеченческих факторов (ESG-трансформация).

## **Развитие тенденций и ключевые события в сфере энергетики**

### **Изменение климата и окружающей природной среды**

14. По данным Бюро ООН по снижению риска стихийных бедствий (UNDRR) за период с 2000-го по 2019 год в мире случилось почти вдвое больше крупных природных катастроф, чем за период с 1980-го по 1999 год. В очередном докладе Межправительственной группы экспертов по изменению климата (IPCC) от 9 августа 2021 г. констатируется беспрецедентно высокий уровень и скорость климатических изменений за всю историю человечества. Так, последние пять лет стали

самыми жаркими за всю историю наблюдений с 1850 года, скорость повышения уровня моря по сравнению с периодом 1901-1971 гг. практически утроилась. Также почти утроилась за последние 10 лет скорость таяния Антарктического ледяного щита.

15. Изменение климата приводит к увеличению опасных метеорологических явлений: ураганов, ливней, наводнений, пожаров и засухи. В России за последние 20 лет число таких природных явлений удвоилось. При этом, по оценке МЧС России, около 60% населения России россиян проживает в районах, где поражающие факторы погодных стихий могут нанести существенный ущерб. В частности:

увеличение числа суток с экстремально высокими значениями температуры воздуха в летний сезон негативно скажется на процессе передачи электроэнергии, приводя к уменьшению исходной передаваемой мощности. При превышении температуры +25 °C передаваемая мощность уменьшается на 2,25 % на 1 °C, потери на ЛЭП составляют 0,4 % на 1 °C, а при повышении температуры до +35 °C возникает опасность перегрева линий электропередач (ЛЭП), что может привести к прекращению передачи электроэнергии;

увеличение частоты ливней может привести к более частым замыканиям в цепи и увеличить число аварий на ЛЭП, а наводнения, лавины и оползни могут привести к повреждениям подстанций, кабеля и другого оборудования ЛЭП;

засухи и снижение уровня воды в водохранилищах приводят к снижению мощности и даже отключениям ГЭС; в последнее время такие события наблюдались, например, в США, Бразилии и Китае;

уменьшение водных ресурсов в районах работы АЭС (которым требуется вода для охлаждения) может привести к понижению порогового уровня отключения;

хотя в России прогнозируется увеличение притока воды к водохранилищам крупных ГЭС, что в целом благоприятно скажется на выработке электроэнергии в стране, однако, если объем воды окажется выше нормы, могут потребоваться дополнительные сбросы, которые могут быть опасны для населенных пунктов, расположенных ниже по течению;

таяние вечной мерзлоты, занимающей более 60% территории России, в состоянии дестабилизировать транспортную, строительную и энергетическую инфраструктуру Архангельской, Мурманской областей, Республики Коми, Ямало-Ненецкого округа, Красноярского края и Якутии.

16. Частота и негативный эффект этих и других природно-климатических явлений в последнее десятилетие увеличиваются, такая тенденция сохранится и в будущем, принимая необратимый характер.

Согласно докладу МГЭИК экстремальные погодные явления станут чаще даже при стабилизации глобального потепления на отметке 1,5 °C по сравнению с доиндустриальным

значением (цель, к которой сейчас стремятся страны мира, ратифицировавшие Парижское соглашение по климату). Если же нынешний темп потепления сохранится и оно, как прогнозируется, достигнет 3° С, то интенсивность опасных явлений увеличится в четыре раза по сравнению с изменениями при 1,5° С.

### **Пандемия коронавируса и энергетический переход**

17. Возможность возникновения в обозримом будущем мутагенных пандемий, как результат изменения окружающей человека среды и снижения его иммунитета в результате ухудшения экологии, предсказывалась многими исследователями и, в частности, отражена в Прогнозе-2016. Однако разразившаяся в 2020 году пандемия коронавируса COVID-19 оказалась для мирового сообщества довольно неожиданной, вызвала кризис экономики (превышающий кризис 2008 года) и породила целый ряд явлений, который можно назвать «цивилизационным шоком».

18. Пандемия вызвала резкое снижение производственной, транспортной и потребительской активности и логистики вследствие массовой заболеваемости, жестких карантинных мер и перехода на дистанционные формы деятельности.

Для мировой энергетики ситуация пандемии в первом полугодии 2020 года обернулась:

резким снижением спроса на энергоносители – так, на пике первой волны пандемии в Европе в апреле 2020 года потребление нефти и угля упало на 40 % (по сравнению с показателями апреля 2019 года), газа – на 30 %, атомной энергии – на 16 %, электроэнергии в целом – на 13 %;

падением цен на нефть и кризисом на мировых рынках углеводородов;

активизацией ESG-трансформации, в том числе изменением инвестиционных стратегий крупных институциональных инвесторов, в частности, переносом инвестиционной активности из сферы углеводородных проектов на проекты в медицине и биотехнологиях, а в энергетике – в возобновляемую энергетику, производство водорода и накопителей;

относительной устойчивостью спроса на электроэнергию, произведенную на базе ВИЭ, при общем снижении спроса на электроэнергию в целом;

ростом государственного финансирования «зеленой энергетики».

19. По оценке Bloomberg New Energy Finance (BNEF) в 2020 году общий уровень инвестиций в энергетический переход составил рекордные 501,3 млрд долларов. При этом среди всех стран мира наибольший прирост пришелся на ЕС: плюс 67 % к 2019 году. Одновременно с этим в Китае и в США наблюдается сокращение финансирования энергетического перехода на 12 и 11 % к 2019 году соответственно.

20. Пандемия коронавируса затронула все регионы мира, но по-разному повлияла на перспективы и процесс энергетического перехода.

В Европе, с одной стороны, укрепились позиции сторонников форсирования энергетического перехода, которые рассчитывают воспользоваться технологической и экономической рентой, обеспечиваемой им глобализацией этого процесса.

С другой стороны, ситуация с пандемией стала своего рода тестом на готовность европейских стран к резкому росту цен в сфере энергоносителей в рамках энергетического перехода.

21. По информации агентства Bloomberg, в 2021 году цены на энергоносители растут во всем мире, и особенно в Европе, по мере того, как мировая экономика выходит из пандемии, а климатическая политика ужесточается. Правительства опасаются распространения уже проявившейся в некоторых европейских странах негативной реакции населения на рост коммунальных платежей, прежде всего тарифов на электроэнергию, из-за необходимости финансировать переход на ВИЭ. Возникли сомнения в сроках и в обеспечении необходимого уровня инвестиций, который требует реализация европейского «Зеленого пакта», в особенности при учете разницы в развитии энергетики европейских стран (например, большую долю угля в топливно-энергетических балансах), а также влияния дополнительных затрат на население. В связи с этим в Европе высказываются предложения в энергетическом переходе уделить больше внимания таким низкоуглеродным источникам первичной энергии, как атомная энергия и природный газ, однако, на момент разработки Прогноза эти предложения не вошли в директивные документы ЕС.

22. Наряду с Европой наиболее вероятно ускорение энергетического перехода в некоторых странах Северо-Восточной и Юго-Восточной Азии, в частности в Южной Корее, Китае и Японии (притом, что последние две страны не намерены отказываться от строительства угольной генерации), где правительства предпринимают достаточно активные усилия в данном направлении.

В то же время существенно пострадавшие от пандемии страны Латинской Америки, Азии и Африки, вероятно, замедлят свое движение в рамках энергетического перехода.

23. Темпы энергетического перехода в существенной степени зависят от четвертого «Д» – декаплинга (decoupling), то есть снижения зависимости между экономическим ростом и энергопотреблением. В то время как во всем мире выбросы CO<sub>2</sub> на единицу ВВП сокращаются, коэффициент декаплинга с 1995 по 2018 год составил 1,8 % в год. Как утверждают эксперты, чтобы достичь чистого нуля выбросов к 2050 году, этот показатель должен достичь 8,7 %, то есть вырасти почти в пять раз. Темпы декаплинга за последнее десятилетие увеличились, но этого

недостаточно, например, в ЕС декаплинг должен вырасти еще в 2,5 раза, чтобы поставленные к 2050 цели декарбонизации могли быть достигнуты.

Кроме того, вероятность быстрого глобального энергоперехода снижают следующие обстоятельства:

доля электроэнергии в суммарном энергетическом балансе планеты составляет всего 18%; на ветряную и солнечную энергию приходится не более 5% от всего потребления энергии;

успехи в распространении электромобилей довольно скромные (Норвегия, которую часто приводят в пример в связи с электромобилями, поскольку в этой стране доля электромобилей достигает 60% продаж всех новых автомобилей, является скорее исключением из правил – например, в США эта доля в 2020 году составила 2%);

работы над накопителями ведутся уже много лет, однако, промышленное их производство и применение задерживается;

по оценкам OilPrice, глобальный отказ от нефти, газа и угля в пользу зеленых технологий производства энергии потребует около 40 трлн долларов до 2050 года;

по оценке МЭА для достижения состояния нулевых выбросов CO<sub>2</sub> (Net Zero Emission) к 2050 году необходимы глобальные инвестиции в размере порядка 100 трлн долларов, что превышает ВВП всего мира в 2019 году;

около 15% сокращения выбросов CO<sub>2</sub> до 2030 года и 50% сокращения выбросов CO<sub>2</sub> до 2050 года зависит от технологий, которые в настоящее время находятся в стадии разработки;

по данным Всемирного банка, сегодня в условиях крайней нищеты (до 1,9 доллара в день) живут около 700 миллионов человек из 7,6 миллиарда. В 2018 году, то есть до пандемии и экономического кризиса, просто за чертой бедности (до 5,5 доллара в день) находилось половина населения Земли. При этом около одного миллиарда человек до сих пор не имеет постоянного доступа к электричеству;

необходимость масштабной добычи железа, меди, алюминия, никеля, лития, кобальта, платины и серебра, а также редкоземельных металлов, мощности месторождений которых ограничены, а добыча в ряде случаев далеко выходит за рамки ESG-требований;

необходимость ускоренной по сравнению с традиционной энергетики замены оборудования и утилизации массы отходов (например, по оценкам экспертов, солнечные панели создают в 300 раз больше токсичных отходов на единицу энергии, чем атомные электростанции).

## **Декарбонизация**

24. К настоящему времени большинство стран мира, следя Парижскому соглашению, объявили климатические цели и обязательства по сокращению выбросов парниковых газов.

Из 190 государств, ратифицировавших Парижское соглашение, большинство (74 государства) сформулировало свои обязательства по снижению выбросов парниковых газов относительно инерционного сценария (сценарные цели); 61 государство, включая Россию и ЕС, зафиксировали абсолютные цели (в процентах к базовому году) и еще 8 – обозначили целевой уровень выбросов парниковых газов, к которому они стремятся; 25 государств заявили только действия, направленные на сокращение выбросов, и еще 13 – косвенные цели, не привязанные напрямую к выбросам парниковых газов; 9 сфокусированы на относительных показателях сокращения выбросов, как правило, на единицу ВВП (относительные цели).

25. Расширяется число сторонников инициативы постепенного отказа от ископаемого топлива:

ЕС и Япония намерены обеспечить углеродную нейтральность к 2050 году, при этом ЕС представил «дорожную карту» по достижению этой амбициозной цели – «Зеленый пакт для ЕС» (EU Green Deal);

Китай объявил о намерениях достигнуть углеродной нейтральности к 2060 году;

планы по исключению угольной генерации разрабатываются более чем в 20 странах (например, Великобритания намерена уже к 2025 году вывести из эксплуатации все угольные ТЭС), и этот список продолжает увеличиваться, более 120 крупнейших мировых банков отказались от кредитования угольной промышленности, энергомашиностроительные компании заявляют о прекращении производства оборудования для угольных ТЭС;

в Азии, которая является основным регионом потребления угля, рассматривается возможность ограничения угольной генерации и поэтапного вывода неэффективных мощностей;

существуют отдельные инициативы по отказу от ископаемого топлива для транспорта и запрету на разведку и добычу полезных ископаемых.

26. Продвигающие политику декарбонизации энергетики и экономики страны делают ставки на вытеснение ископаемых топлив возобновляемыми и «зелеными» видами энергии, электрификацию транспорта и сокращение потребления энергии за счет энергосбережения и повышения энергоэффективности потребителей.

27. Основными направлениями стимулирования декарбонизации в настоящее время являются:

формирование и развитие рынков ценных бумаг в рамках контроля за выбросами парниковых газов и углеродным следом, а также ESG-трансформации компаний;

введение «углеродного налога» на импортируемые товары.

28. Согласно данным BNEF, с начала 2021 года по май по сравнению с аналогичным периодом 2020 года облигации устойчивого развития выросли на более, чем в 3 раза, зеленые облигации – почти в 1,5, а кредиты, связанные с устойчивым развитием, – в 2,5 раза.

29. В рамках EU Green Deal в 2020 году начался четвертый этап развития Европейской системы торговли квотами (EU-ETS), предусматривающий постепенно прекращение выдачи бесплатных квот на выбросы диоксида углерода, в результате чего, несмотря на негативный эффект от пандемии COVID-19, в ЕС котировки фьючерсов на выбросы продолжают расти и, по мнению аналитиков, к 2030 году фьючерсы на CO<sub>2</sub> могут достичь отметки 70 евро/тонн.

30. Внедрение обязательных систем углеродного ценообразования считается одной из наиболее кардинальных мер для достижения целей сокращения выбросов парниковых газов. По данным Всемирного банка, по состоянию на ноябрь 2020 года в мире насчитывалось 64 инициативы углеродного ценообразования, из которых 33 можно отнести к углеродным налогам и 31 – к системам торговли квотами на выбросы парниковых газов (СТК). Такими инициативами охвачено 46 стран, включая страны ЕС, а также отдельные штаты США, провинции в Канаде и Китае.

31. В связи с планами ЕС по введению трансграничного углеродного регулирования тема углеродного налога приобрела особенную остроту.

Предполагается, что углеродный налог может распространяться не только на прямые выбросы CO<sub>2</sub>, образующиеся при производстве данного товара, но и на косвенные выбросы, источниками которых являются смежные производства и логистика (транспорт и хранение товара). Налог может взиматься с полного объема выброса CO<sub>2</sub>, либо с его части, определяемой разницей между удельными выбросами в стране-экспортере и стране-импортере.

32. Углеродный налог служит для ЕС одним из инструментов финансирования декарбонизации и достижения углеродной нейтральности, для чего Европе требуется, по разным оценкам, от 175 до 290 млрд евро инвестиций в год.

33. По мнению ряда экспертов, декарбонизация приведет к росту цен и станет главным фактором резкого и длительного роста инфляции. Другие эксперты утверждают, что задержка с переходом до конца века может нанести ущерб мировой экономики в размере до 13 % ВВП.

## **Энергосбережение**

34. По мнению аналитиков МЭА, именно энергосбережение и энергоэффективность должны будет обеспечить более 40 % сокращения выбросов парниковых газов, связанных с энергетикой.

35. В последние два десятилетия доля затрат на разработку энергосберегающих технологий в суммарных вложениях государственных средств и финансовых ресурсов различных фондов в НИОКР составляла в мире 18-22%.

36. Развитие энергосбережения и повышение энергоэффективности включают:

повышение энергоэффективности технологических процессов и оборудования

(технологическое энергосбережение);

опережающее развитие секторов экономики с производством менее энергоемкой продукции с высокой добавленной стоимостью (структурное энергосбережение);

применение новых видов материалов, более функциональных и долговечных (замещение материалов);

переработку производственных и бытовых отходов для извлечения и повторного использования ценных компонентов (рециклинг);

внедрение информационно-коммутационных технологий нового поколения (цифровой переход от 2G и 3G к 4G и далее к 5G);

внедрение современных методов управления энергосбережением и повышением энергоэффективности на основе серии стандартов энергетического менеджмента ISO 50000 (управленческое, организационное энергосбережение).

37. Реализация политики энергосбережения осуществляется посредством мощной государственной поддержки создания энергосберегающих технологий и их массового внедрения, запрета на использование энергорасточительного оборудования, законодательно закрепленных требований по применению наилучших доступных технологий, а также стимулирование развития высокотехнологичных неэнергоемких секторов экономики.

38. Эффективной оказалась реализация мер энергосбережения в зданиях, быту и на транспорте. Разработаны и получили широкое применение благодаря директивным методам воздействия новые теплоизоляционные материалы в ограждающих конструкциях, энергоэффективные средства климат-контроля, осветительные и бытовые приборы, транспортные средства.

39. В настоящее время разрабатывается и реализуется концепция зданий с «нулевым энергопотреблением», хотя коммерческие успехи в распространении соответствующей техники из-за стоимости оборудования и сложности в эксплуатации пока не оправдывают возлагающихся на данную практику надежд.

40. Следует отметить, что отставание России по энергоэффективности экономики от других стран не только сохраняется, но и нарастает. Снижение энергоемкости ВВП в России в последнее десятилетие практически прекратилось.

## **Цифровая трансформация**

41. Развитие в XXI веке информационно-коммуникационных, компьютерных и сенсорных технологий привело к процессу, именуемому «цифровой трансформацией» или «цифровизацией», который охватывает:

массовое внедрение мобильной связи, формирование гигантского рынка разнообразных носимых устройств (и соответствующую потребность в электрохимических аккумуляторах;

создание «цифровых двойников» и интеллектуализацию технологических и бизнес-процессов во всех отраслях экономики, включая энергетику;

в энергетике – непрерывный мониторинг и прогнозирование технического состояния производственного оборудования, ремонта его «по состоянию», дистанционный режим управления установками и системами, удаленный контроль их безопасности, применение интеллектуальных средств индивидуальной защиты, что позволяет сократить производственные издержки, аварийность и травматизм, повысить производительность труда;

появление новых потребителей электроэнергии с высокими требованиями к ее качеству и надежности поставки;

вытеснение Интернет-торговлей традиционных форм торговли, что сокращает потребности в торговых площадях с соответствующей экономией энергии;

развитие услуг интернет-такси (в том числе грузовых такси) и каршеринга, а также недорогого (в перспективе – бесплатного) общественного транспорта с высокой регулярностью движения и визуализацией местоположения транспортных средств, что способствует отказу от владения личным автотранспортом и значительной экономии энергии;

распространение практики дистанционной работы во многих сферах профессиональной деятельности, что уменьшает мобильность людей с соответствующим сокращением затрат энергии на транспорт;

переход мобильной связи с «мегабитного» поколения 4G к «гигабитному» поколению 5G (которое одновременно является более энергоемким), и далее – к «терабитному» поколению 6G, которое, как считают, откроет эру «терабитной экономики».

42. Цифровая трансформация сказывается также на процессе урбанизации. До настоящего времени превалировал процесс концентрации населения и бизнеса в крупных городах и мегаполисах. Следствием стали высокая плотность в них электрических и тепловых нагрузок и большой пассажиропоток, которые сложно обеспечить, и низкое качество окружающей городской среды. Применение цифровых технологий может побудить городских жителей к переселению в пригороды и разгрузить города. Процесс сокращения плотности населения и деловой активности на городских и больших сельских территориях снижает эффективность функционирования на них систем централизованного энергоснабжения и делает целесообразной распределенную генерацию.

## **ESG-трансформация**

43. ESG-трансформация – обеспечение курса на соблюдение экологических (Environmental) и социальных (Social) приоритетов, а также принципов прозрачности управления (Governance) при

планировании отраслевого и корпоративного развития. Принимая решение о вложениях, инвесторы стремятся к сохранению доходности своего портфеля на длинном горизонте и, следовательно, охотнее выбирают компании, на практике доказывающие свою приверженность целям устойчивого развития.

44. Несмотря на отличающиеся подходы к приоритетам энергетического развития в разных странах на высшем политическом уровне (например, ЕС и США), глобальные институциональные инвесторы в целом действуют по единым правилам, которые формируются и согласовываются на площадке международной ассоциации ответственного инвестирования (Principles for Responsible Investment, PRI).

45. Согласно Google Trends, цифровая и ESG повестки стали заметны в глобальном информационном поле приблизительно в одно время, в 2016 году, тенденции интереса показывали одинаковую динамику популярности, но с 2020 года цифровая трансформация практически перестала показывать положительную динамику роста интереса, а тема ESG стала расти заметно быстрее, чем раньше. При этом между указанными тенденциями имеется существенное региональное разделение: ESG интересуется преимущественно Северная Америка, Австралия, Китай и ЮАР, а «цифвой» — Южная Америка, Индия и Россия.

46. Причина опережения ESG-тематикой тематики цифровой трансформации, по мнению экспертов, может быть в том, что последняя не оправдала возложенных (и местами завышенных) ожиданий как полноценная стратегия развития, поскольку ориентирована преимущественно на технологии для повышения эффективности выполнения функциональных задач, оставляя в стороне интересы акционеров и социальные приоритеты.

47. В тоже время ценность «цифры» для ESG заключается в возможности эффективно управлять рисками, стоимостью денег, стоимостью фондирования со стороны инвесторов и другими аспектами деятельности компаний.

48. В России концепция ESG находится пока в начальной стадии распространения, ее продвигают крупнейшие банки, запускающие финансовые продукты и пакетные услуги, Минэкономразвития России в роли куратора рынка «зелёных» финансов, крупные компании, работающие на международном рынке.

### **Электрификация транспорта**

49. Широкое распространение автомобильного транспорта в прошлом привело к резкому росту спроса на моторные топлива и сделала автотранспорт основным источником загрязнения окружающей среды городов. В 2019 году доля моторных топлив в структуре мирового потребления конечной энергии составила 41%. Вклад автотранспорта в загрязнение многих городов превышал 80%.

50. Ужесточение в развитых странах природоохранного законодательства в отношении автотранспорта потребовало усовершенствования двигателей внутреннего сгорания и породило спрос на высокооктановые экологически чистые моторные топлива. Разработаны и массово внедрены новые технологии нефтепереработки (гидроочистки, гидрокрекинга и др.), позволившие производить высококачественное моторное топливо высоких экологических стандартов (Евро-5 и Евро-6), что наряду с применением автомобильных каталитических нейтрализаторов для дополнительной очистки выхлопных газов обеспечило существенный рост эффективности потребления топлива автотранспортом и значительное сокращение выбросов вредных веществ в городах.

51. Тем не менее, процесс ужесточения природоохранного законодательства продолжается. В частности, в Евросоюзе приступили к разработке очередного стандарта Евро-7, который предполагает более чем двукратное снижение автомобилями выбросов оксидов азота и дальнейшее ужесточение требований к выбросам. Приятие данного стандарта запланировано на 2025 год и он может стать трудно преодолимым барьером для дальнейшего использования двигателей внутреннего сгорания на автотранспорте.

52. Успехи в производстве литий-ионных аккумуляторов привели к снижению стоимости электромобилей и росту их продаж по всему миру, несмотря на постепенное сокращение государственных льгот приобретателям. По данным МЭА, в 2020 году в мире было продано свыше 3 млн легковых электромобилей, в том числе 2 млн полностью электрических и 1 млн подключаемых гибридов. Доля электромобилей в суммарных продажах легковых электромобилей достигла 4,6%. В Европе в целом она составила 10%, в Германии – 13,5%, Китае – 5,7%.

Парк легковых электромобилей в мире в 2020 году достиг 10,2 млн шт., в том числе 6,9 млн шт. полностью электрических и 3,3 млн подключаемых гибридов.

53. Мировое экспертное сообщество уверено в продолжении перехода автотранспорта с моторных топлив на электроэнергию. В частности, МЭА прогнозирует к 2030 году рост мировых продаж легковых электромобилей до 16-40 млн шт. в год (при этом мировой парк электромобилей к 2030 году достигнет 120-200 млн. шт.), а электрических автобусов и грузовиков – до 3,6-6,9 млн шт. (мировой парк – 18-28 млн шт.).

54. Электрический транспорт становится значимым потребителем электроэнергии. По данным МЭА, в 2020 году в мире им потреблено около 42 ТВт·ч электроэнергии.

55. Развитие и распространение электротранспорта вызовет серьезные изменения в электросетевой инфраструктуре и приведет к резкому росту спроса на литий-ионные батареи. К 2025 году ежегодные объемы их производства должны возрасти до 408 ТВт·ч, а к 2030 году – до 1293 ГВт·ч против 123 ГВт·ч в 2020 году.

56. Массовая электрификация транспорта ведет к замещению электроэнергией моторных топлив. По оценкам МЭА, в 2020 году в целом по миру электромобилями было вытеснено около 10 млн т нефтепродуктов, к 2030 году эта величина возрастет до 87-150 млн т в год.

### **Роботизация экономики и социальной сферы**

57. Новую волну электрификации поддерживает роботизация промышленности, сельского хозяйства, сферы услуг и домашних хозяйств.

58. Мировой парк промышленных роботов в 2019 году превысил 2,7 млн шт. (в 2010 – чуть более 1 млн шт.). Ежегодный ввод новых промышленных роботов в мире в 2017-2019 годах составлял 370-420 тыс. шт. против 60 тыс. шт. в 2009 году. В среднем по миру уровень роботизации промышленных производств достиг в 2019 году 103 роботов на 10 тыс. работающих. В промышленно развитых странах он в разы выше (855 в Южной Корее, 364 в Японии, 346 в Германии), а в России на порядок ниже среднемирового.

59. В перспективе массовая роботизация, в том числе использование автономных роботов, затронет все отрасли экономики и всю социальную сферу:

в промышленности наряду со стационарными роботами в технологических схемах уже активно используются автономные роботы. В 2019 году в мире было реализовано 173 тыс. шт. профессиональных сервисных роботов, используемых для выполнения складских работ, уборки больших помещений, обеспечения безопасности объектов. К 2023 году, как ожидается, их ежегодная реализация возрастет до 573 тыс. штук;

продажи домашних сервисных роботов в мире еще более многочисленны: в 2018 году они составили около 17,8 млн шт., в 2019 году – 23,2 млн. шт. и к 2023 году ожидается их рост до 55,3 млн. штук;

в рамках переход к «точному» (интеллектуальному) земледелию ожидается массовое применение широкого спектра беспилотных сельскохозяйственных машин (агророботов) с системами точного позиционирования и беспилотных летательных аппаратов дистанционного зондирования сельхозугодий для оценки их состояния в реальном времени, а также переход в сельхозмашинах с механического (гидравлического) привода на электрический.

60. Рост парка автономных сервисных роботов и расширения сфер их применения будет создавать дополнительный спрос на аккумуляторные батареи, а также топливные элементы на водороде.

### **Возобновляемые источники энергии**

61. Начиная с 2014 года ежегодная вводимая мощность возобновляемых источников превысила вводимую мощность традиционных генераторов. Инвестиции в возобновляемые

источники более чем в два раза превышают инвестиции в традиционные источники. По ряду стран доля возобновляемой энергетики близка к 50 %, или даже превышает ее. Это влечет за собой развитие сопутствующих технологий, прежде всего, силовой электроники.

62. В связи с происходящими в электроэнергетике структурными изменениями ожидается ускоренное развитие по следующим направлениям:

силовая электроника, прогнозируется более чем двукратный рост рынка до 2025 года;

системы накопления энергии, возможен многократный рост рынка до 2025 года;

возобновляемые источники энергии (ВИЭ) и распределенная генерация, прогнозируется двукратный рост до 2025 года;

микроэнергосистемы, прогнозируется рост в 3-5 раз до 2025 года;

интеллектуальные системы управления и защиты, прогнозируется более чем двукратный рост до 2025 года.

63. К наиболее перспективным технологиям можно отнести инверторы с расширенным функционалом (smart inverters, смарт инверторы), гибридные системы накопления, системы управления распределенными энергетическими ресурсами, стандартизованные решения microgrid, интеллектуальные системы защиты и автоматического управления энергосистем.

64. В 2020 году в мире впервые было введено более 200 ГВт солнечных и ветровых электростанций (далее СЭС и ВЭС соответственно). Инвестиции в солнечную энергетику в 2020 году, согласно BNEF, составили 148,6 млрд долларов (плюс 12 %), а в ветровую – 142,7 млрд (минус 6 %).

65. По данным МЭА, в 2019 году в мире было введено в эксплуатацию 115 ГВт СЭС. Солнечная энергетика развивается практически полностью на основе фотоэлектрических преобразователей (ФЭП), благодаря росту их КПД и снижению стоимости. В 2019 году установленная мощность солнечных электростанций на основе ФЭП в мире составила 627 ГВт, которыми было выработано 720 ТВт·ч электроэнергии. По прогнозам к 2030–2035 гг. производство электроэнергии на СЭС может возрасти в 4-5 раз и более.

66. Основными драйверами развития возобновляемой энергетики являются:

снижение себестоимости производства установок, использующих ВИЭ, и, как следствие, снижение стоимости выработки ими электрической энергии;

государственная поддержка на всех этапах от научных исследований до потребления электрической энергии, выработанной на основе ВИЭ.

67. Стоимость электроэнергии, производимой СЭС и ВЭС, практически сравнялась со стоимостью традиционной генерации.

68. Средняя по миру удельная стоимость установленной мощности крупных СЭС (100 МВт и более) приблизилась к 1000 долл./кВт, а передовых - к 850-900 долл./кВт, и остались

определенные резервы для ее снижения. Электростанции небольшой мощности (сотни кВт) стоят в 1,5-1,8 раз дороже, а «домашние» электростанции (десятки кВт) дороже в 2,5-2,7 раза.

69. Эффективность применения СЭС определяется многими факторами: уровнем инсоляции и климатическими условиями в районе размещения, техническими и экономическими характеристиками применяемого оборудования, стоимостью земли, условиями налогообложения, величиной государственных и муниципальных преференций. Из-за особенностей поступления солнечной энергии коэффициент использования установленной мощности (КИУМ) солнечных электростанций оказывается достаточно низким – около 13-15 %, что существенно удорожает стоимость производимой электроэнергии.

70. Суммарная установленная мощность ВЭС в мире за последнее десятилетие выросла почти в 5 раз и в 2019 году достигла 651 ГВт, из которых 528 ГВт пришлось на наземные и 23 ГВт – на морские (оффшорные) установки. Выработка электроэнергии ВЭС в 2019 году составила 1215 ТВт·ч, в том числе 1150 ТВт·ч наземными и 65 ТВт·ч морскими установками. Лидерами в развитии ветроэнергетики являются Китай, Евросоюз и США. За предстоящее десятилетие, согласно прогнозам МЭА, выработка электроэнергии ВЭС в мире возрастет еще в 3 раза и к 2030 году превысит 4300 ТВт·ч/год, в том числе 3700 ТВт·ч/год наземными и 600 ТВт·ч/год морскими установками.

71. Продолжаются разработки технологий использования других возобновляемых видов энергии. В частности, энергии потоков малых рек, геотермальной энергии, в том числе глубинного тепла горных пород, а также энергии морских приливов и волн. Однако по сравнению с солнечной и ветровой энергией освоение этих ресурсов имеет локальный характер, часто возникают достаточно жесткие экологические ограничения на их использование, получаемая электроэнергия оказывается дорогой.

72. В мире продолжают активно разрабатываться технологии производства углеродонейтрального топлива из биологического сырья: отходов лесного и сельского (биогаз) хозяйства, деревообрабатывающей (пеллеты) и пищевой промышленности, а также специально выращенных биоресурсов.

73. Дальнейшему продвижению ВИЭ способствует введение в рамках декарбонизации различных систем сертификации электроэнергии, с внедрением соответствующих стандартов и рекомендаций для потребителей приобретать исключительно электроэнергию, выработанную с использованием ВИЭ.

74. Создание в России рынка «зеленых» сертификатов обсуждается уже около десяти лет, но первая сделка на их покупку была заключена только в конце прошлого года. К июлю 2021 года по заявкам генераторов «зеленой» энергии ассоциацией «Цель номер семь» выпущено более 1,2

млн сертификатов I-REC (каждый соответствует 1 МВт·ч произведенной за счет ВИЭ электроэнергии).

75. Трудностями на пути распространения возобновляемой энергетики являются:

стохастический (случайный) и потому трудно прогнозируемый характер производства электроэнергии посредством СЭС и ВЭС;

необходимость сооружения и содержания дополнительных генерирующих и/или аккумулирующих мощностей, а также электрических сетей для обеспечения бесперебойного электроснабжения потребителей;

необходимость сбора и переработки больших объемов отработавшего оборудования (солнечных панелей, лопастей ветродвигателей, электрических преобразователей и др.).

### **Аккумуляторы и другие накопители энергии**

76. Аккумуляторы электроэнергии становятся одной из ключевых энергетических технологий. Они нужны не только для портативной электроники и электротранспорта, но и в стационарной энергетике: для повышения надежности электроснабжения, управления параметрами электрических систем, покрытия пиковых нагрузок, повышения эффективности работы энергоустановок на базе ВИЭ, быстрой зарядки электромобилей. В стационарной энергетике особенно важны удельные стоимостные характеристики аккумуляторов. Прогресс в разработке электрохимических аккумуляторов играет ключевую роль в скорости и масштабах перехода к электротранспорту, а также к широкому использованию автономных бытовых и промышленных роботов.

77. В ожидании бума производства электромобилей в мире активно строятся предприятия по производству электрохимических аккумуляторов. В частности, в Европе сооружаются или готовятся к строительству 25 предприятий суммарной производительностью около 600 ГВт·ч в год. В Китае строится 22 предприятия, при том, что в стране уже имеется 93 предприятия по производству аккумуляторов. Новые заводы сооружаются в США, Японии и Корее.

78. По данным BNEF, за 10 лет средняя цена литий-ионных батарей упала более чем в 8 раз и в 2020 году у мировых производителей составила 137 долл./кВт·ч. Считается, что электромобили станут конкурентоспособными с традиционными автомобилями на базе двигателей внутреннего сгорания (ДВС) при достижении аккумуляторными батареями цены в 100 долл./кВт·ч. Такая цена может быть достигнута к 2024 году, поскольку уже в 2020 году некоторые китайские компании производили аккумуляторные батареи по цене 105 долл./кВт·ч. К 2030 году благодаря применению новых катодных и анодных материалов и твердых электролитов, а также росту масштабов производства, стоимость литий-ионных аккумуляторных батарей может снизиться до 58 долл./кВт·ч, а их доля в стоимости электромобиля опустится до 18 %.

Совершенствование конструкции электрохимических батарей и системы управления ими призвано улучшить потребительские свойства аккумуляторов: увеличить рабочий ресурс и скорость зарядки, расширить эксплуатационный диапазон и др.

79. Основные направления разработки электрохимических аккумуляторов следующие:

литий-кобальт-оксидные аккумуляторы (LCO), имеют высокое напряжение ячейки (4,2 В), высокую энергоемкость, но дорогие, весьма опасные и не очень хорошо приспособлены для быстрой зарядки, применяются преимущественно в портативной электронике;

никель-марганец-кобальтовые аккумуляторы (NMC), характеризуются высокой энергоемкостью и относительно небольшой стоимостью и сроком службы, низким зарядным током, невысоким уровнем безопасности, но имеют большие возможности для совершенствования;

литий-железо-фосфатные аккумуляторы (LFP), характеризуются меньшей стоимостью, высоким током заряда, большим рабочим ресурсом, широким диапазоном эксплуатации, высоким уровнем безопасности, не обладают «эффектом памяти»;

литий-титановые аккумуляторы (LTO), в которых традиционный графитовый анод заменен нанокристаллическим пентатитанитом лития, благодаря чему удалось увеличить срок службы батареи и ток заряда, характеризуются большим рабочим ресурсом, широким эксплуатационным диапазоном, взрыво- и пожаробезопасностью, однако, имеют невысокую энергоемкость (60-100 Вт·ч/кг), низкое напряжение ячейки (2,3 В) и примерно в 2 раза дороже традиционных аккумуляторов типа LFP;

литий-металлические аккумуляторы, ожидается, что рабочий ресурс таких аккумуляторов будет не менее 10-15 лет (что примерно соответствует сроку службы автомобиля), зарядка батареи электромобиля до 80 % емкости займет около 15-20 минут;

твердотельные аккумуляторы, в которых традиционные жидкие или гелевые электролиты заменяется на твердые, посредством чего рассчитывают увеличить удельную емкость и мощность аккумулятора, уменьшить его размеры, сократить время зарядки и стоимость, повысить безопасность;

натрий-ионные аккумуляторы, разрабатываются в основном для применения в стационарной энергетике, могут быть дешевле и безопаснее традиционных литий-ионных, но уступают им по энергоемкости, имея около 140 Вт·ч/кг, однако, есть надежды на увеличение ее до 200 Вт·ч/кг;

графеновые алюминий-ионные аккумуляторы в опытных образцах продемонстрирована хорошая энергоемкость (150-160 Вт·ч/кг), высокая удельная мощность (около 7 кВт/кг), быстрая зарядка, высокая безопасность, способность работать при отрицательных температурах, ожидается, что коммерческие прототипы будут готовы для тестирования в конце 2022 года;

окислительно-восстановительные (проточные) аккумуляторы (редокс-батареи), в частности ванадиевые редокс-батареи имеют весьма высокий КПД (75-80 %), низкий саморазряд, неприхотливы в эксплуатации, пожаро- и взрывобезопасны, выдерживают до 20 тыс. и более циклов заряда/разряда (что соответствует требуемой на практике продолжительности эксплуатации около 20 лет), недостатками являются низкая энергоемкость (около 20 Вт·ч/кг, которая может быть увеличена до 35 Вт·ч/кг), низкое номинальное напряжение элемента, серьезная проблема с коррозией.

80. Ванадиевые редокс-батареи весьма привлекательны для использования в стационарной энергетике, прежде всего в системах распределенной генерации на базе ВИЭ. В мире в эксплуатации находится более 40 ванадиевых редокс-накопителей, крупнейшая установка введена в эксплуатацию в 2015 году в Японии, имеет мощность 15 МВт и емкость 60 МВт·ч.

81. У литий-ионных аккумуляторов еще имеется значительный потенциал для совершенствования, и они останутся, видимо, на предстоящие десятилетия основной технологией аккумулирования электроэнергии для многих сфер применения.

82. Кроме литий-ионных и «пост-литиевых» электрохимических аккумуляторов в мире с разной степенью интенсивности продолжаются разработки других типов технологий аккумулирования электроэнергии для стационарной энергетики. В их числе:

гравитационные накопители, характеризуются высоким КПД (около 75-78 %), но очень низкой энергоемкостью (около 14-28 Вт·ч/кг), большой материалоемкостью, их экономические показатели в существенной степени зависят от технологии строительства основного сооружения, надежности узлов и механизмов;

супермаховики, характеризуются КПД до 85 %, энергоемкостью в 200-250 Вт·ч/кг, основной областью применения считается обеспечение бесперебойного питания, в мире реализовано несколько демонстрационных проектов, но для коммерческого применения, несмотря большую длительность разработок, технология пока не готова;

пневмоаккумулирующие электростанции, технологически отработаны, имеют КПД около 45-55 %, энергоемкость 17-22 Вт·ч/кг, однако, распространения пока не получили, поскольку для их создания требуются специальные подземные полости. В настоящее время суммарная мощность пневмоаккумулирующих электростанций в мире составляет около 440 МВт;

сверхпроводящие индукционные накопители энергии, КПД такой системы беспрецедентно высокий и превышает 90% (с учетом потерь в инверторе), но энергоемкость не очень большая - около 75 Вт·ч/кг; перспективы завершения разработки и коммерциализации будут определяться успехами в создании и промышленном производстве высокотемпературных сверхпроводящих проводников и надежных криогенных систем по приемлемым ценам.

83. Отставание России в разработке и производстве конкурентоспособных электрохимических аккумуляторов, а также других типов накопителей электроэнергии, чревато масштабным импортом, усилением технологической зависимости от зарубежных производителей и невозможностью полноценного развития в стране электротранспорта, возобновляемой энергетики, автономной робототехники, портативной энергетики на базе отечественных технологий.

### **Энергетическое использование водорода**

84. В настоящее время водород сложно и дорого производить (в 3-5 раз дороже природного газа), транспортировать и хранить (морской транспорт жидкого водорода примерно в 5 раз дороже транспорта СПГ, водород повышает хрупкость материалов, что снижает надежность и сокращает срок службы оборудования). Мировое производство водорода составляет около 115 млн т, который практически в полном объеме используется на технологические нужды: в нефтепереработке, для производства аммиака и метанола, прямого восстановления металлов и др.

85. Масштабы использования водорода в энергетических целях в настоящее время достаточно скромные:

легковых автомобилей с топливными элементами на водороде – около 31 тыс. шт., что в 300 раз меньше по сравнению с электромобилями;

около 10 тыс. водородных автобусов и грузовиков;

годовые продажи легковых автомобилей на водороде в мире (9,6 тыс. шт. в 2020 году) в 400 раз меньше, чем электромобилей.

При этом использование водородного транспорта в настоящее время характеризуется дороговизной и недостаточной экологичностью.

86. В качестве приоритетных областей энергетического применения водорода рассматриваются:

тяжелый транспорт (автомобильный грузовой и пассажирский, железнодорожный, речной и морской),

прочие тяжелые машины (сельскохозяйственные, строительные, карьерные и др.),

распределенная генерация, прежде всего, когенерация.

87. Общепризнанной технологией, оправдывающей для потребителей переход к водородной энергетике с энергетической и экономической точки зрения, являются топливные элементы. Конкурентными преимуществами энергетических установок с топливными элементами являются их высокая энергетическая эффективность, надежность, отсутствие вредных выбросов и бесшумность, а также отсутствие значимых ограничений для их размещения непосредственно у

потребителей. В диапазоне электрической мощности установки до 25 МВт по величине КПД у них нет конкурентов.

Топливные элементы пока остаются дорогими, что в существенной степени обусловлено небольшими объемами их выпуска. Переход к массовому производству приведет к кратному снижению их стоимости, поскольку в отличие от традиционных энергоблоков топливные элементы хорошо приспособлены к крупносерийному роботизированному производству.

88. Отсутствие потребителей остается главным препятствием на пути к водородной энергетике. Ожидается, что в мобильной энергетике водород будет вытеснять моторные топлива, а в стационарных энергоустановках – все виды котельно-печного топлива.

При этом прогнозы энергетического применения водорода, опубликованные различными организациями, характеризуются большими различиями в количественных оценках: от 27 млн т до 700 млн т к 2050 году. Эти различия обусловлены в том числе неопределенностями в развитии конкурирующих технологий – например, электротранспорта на основе электрохимических аккумуляторов и подключаемых гибридов, или использование ВИЭ, – а также жесткостью требований к сокращению выбросов парниковых газов.

89. В настоящее время наиболее перспективной технологией производства водорода являются паровая конверсия метана и использование природных решений для компенсации выбросов из-за невысоких капитальных затрат и низких издержек на снижение выбросов (или даже их отсутствия). Наиболее нерентабельными технологиями являются технологии для фотогальванических элементов на кристаллическом кремнии и производство водорода путем электролиза на ВИЭ из-за высоких издержек использования энергии.

90. На текущий момент технологии производства и хранения водорода находятся на разных стадиях готовности (TRL): так, технологии производства водорода из природного газа имеет TRL равный 9, то есть максимальный, а технологии коммерческой крупнотоннажной транспортировки находятся на начальной стадии разработки.

91. Согласно прогнозам МЭА, к 2030 году продажи водородных автомобилей в мире возрастут до 0,4-2 млн. шт. в год, из которых примерно 30% придется на тяжелый транспорт - автобусы и грузовики. Однако это в 20-40 раз меньше прогнозируемых объемов продаж электромобилей. В результате мировой парк водородных автомобилей увеличится до 1,6-6,8 млн шт., что составит всего 1-3% от ожидаемого к этому времени мирового парка электромобилей.

92. На потенциальное снижение издержек в производстве водородного транспорта существенно влияют технологии производства основных компонентов топливных элементов. Из последних достижений в области водородного транспорта можно выделить следующее:

отработка технологий получения новых типов протонообменных мембран. Разработана прочная недорогая композитная полностью углеводородная мембрана методом электротранспорта.

с двумя волокнами из сшиваемой смеси полифениленсульфоновой кислоты (PPSA) и полифенилсульфона (PPSU);

работы в области оптимизации мембранных-электродных блоков, поиске новых материалов для биполярных пластин и других компонентов, создания новых типов газодиффузационных слоев и бесплатиновых электрокатализаторов.

93. Разрабатываются новые технологии для водородной инфраструктуры, в частности, технологии мультимодальных водородо- и электrozаправочных станций (H2One™ MultiStation).

94. Производства водорода по любой технологии требует значительных затрат электроэнергии, в связи с чем ключевой проблемой в водородных стратегиях различных стран является, собственно, обеспечение водородом:

водородные стратегии Японии, Южной Кореи и Германии предусматривают импорт водорода;

национальная стратегия развития водородной энергетики Франции предусматривает не только импорт водорода, но и его производство на АЭС.

водородная стратегия для климатически нейтральной Европы не содержит достаточной определенности насчёт того, как обеспечить себе необходимый объём водорода;

государственная стратегия Голландии по водороду включает в себя, помимо безусловного импорта водорода, создание «водородной биржи»;

водородная стратегия Норвегии предусматривает производство водорода либо из природного газа, либо с помощью электролиза из воды.

Согласно имеющимся оценкам, для достижения целей всех принятых в мире водородных стратегий к 2050 году потребуются инвестиции в размере более 5 трлн долларов.

95. Водород может стать новым экспортным продуктом для России, однако, мировой рынок водорода обещает быть высококонкурентным.

### **Извлечение, хранение и полезное использование углекислого газа**

96. В рамках энергетического перехода растет интерес к технологиям улавливания, хранения и использования углерода (CCUS, Carbon Capture Utilization and Storage), которые в перспективе могут оказывать существенное влияние на использование ископаемых видов топлива.

97. По оценкам МЭА, для выхода на траекторию развития мировой энергетики, обеспечивающую удержание роста глобальной температуры на поверхности планеты величиной 1,5 °C, уже к 2030 году требуется суммарная мощность установок извлечения и захоронения CO<sub>2</sub> не менее 1,5 млрд тонн в год.

98. Технологии извлечения CO<sub>2</sub> из газов давно используются в промышленности, а технологии его захоронения разрабатываются уже около 45 лет. Исследуются различные варианты

захоронения: в пористые горные породы, в морские глубины, в отработанные нефтегазовые месторождения.

99. В настоящее время в мире эксплуатируется около 20 пилотных установок, еще 3 сооружается и 35 проектов находится на разных стадиях разработки. Их суммарная годовая производительность оценивается в 127 млн тонн СО<sub>2</sub>, направляемого на захоронение.

100. Расчеты показывают, что применение систем улавливания на электростанциях позволит снизить выбросы СО<sub>2</sub> на 75–90 %, но приведет к увеличению капиталовложений в 1,5 – 2 раза и снижению на 7–8 % КПД установок.

## **2. Вызовы, угрозы и риски в сфере энергетической безопасности и развития энергетики**

101. Основные вызовы, угрозы и риски в сфере энергетической безопасности и развития энергетики определены в Доктрине, уточнены и дополнены в Энергетической стратегии.

В связи с научно-технологическим развитием в отраслях ТЭК следует упомянуть такие вызовы, так:

развитие и распространение прорывных технологий в сфере энергетики, в том числе технологий использования возобновляемых источников энергии, распределенной генерации электрической энергии, накопителей энергии, добывающих углеводородного сырья из трудноизвлекаемых запасов, цифровых и интеллектуальных технологий, энергосберегающих и энергоэффективных технологий на транспорте, в строительстве, жилищно-коммунальном хозяйстве и промышленности;

наращивание международных усилий по реализации климатической политики и ускоренному переходу к “зеленой экономике”;

изменение международного нормативно-правового регулирования в сфере энергетики и условий функционирования мировых энергетических рынков, усиление позиций потребителей;

рост производства сжиженного природного газа и его доли на мировых энергетических рынках, формирование глобального рынка природного газа;

увеличение доли возобновляемых источников энергии в мировом топливно-энергетическом балансе;

переход Российской Федерации к новой модели социально-экономического развития, предполагающей структурную трансформацию экономики, сбалансированное пространственное и региональное развитие, модернизацию основных производственных фондов организаций, существенное повышение производительности труда и эффективности экономической деятельности.

102. В связи с событиями 2016-2021 гг. особенное внимание среди угроз обращают на себя:

неблагоприятные и опасные природные явления, изменения окружающей среды, приводящие к нарушению нормального функционирования и разрушению инфраструктуры и объектов топливно-энергетического комплекса;

противоправное использование информационно-телекоммуникационных технологий, в том числе осуществление компьютерных атак на объекты информационной инфраструктуры и сети связи, способное привести к нарушениям функционирования инфраструктуры и объектов топливно-энергетического комплекса;

103. Указанные в Доктрине и Энергетической стратегии факторы риска, определяющие преобразование вызовов в угрозы, реализацию угроз и масштаб негативных последствий от реализации, включают в себя:

недостаточные темпы реагирования российских организаций ТЭК на тенденции в мировой энергетике, в том числе в части, касающейся освоения новых технологий и коммерческого использования запасов углеводородного сырья;

несогласованное развитие отраслей ТЭК и видов деятельности в сфере энергетики, включая экспорт продукции и услуг организаций ТЭК, в условиях ограниченного государственного контроля и регулирования;

чрезмерная финансовая нагрузка на организации ТЭК в результате увеличения размеров налоговых, таможенных и иных платежей;

избыточность требований, касающихся обеспечения экологической безопасности при осуществлении деятельности в отраслях топливно-энергетического комплекса, рост затрат организаций ТЭК на обеспечение выполнения таких требований;

несоответствие технологического уровня российских организаций топливно-энергетического комплекса современным мировым требованиям и чрезмерная зависимость их деятельности от импорта некоторых видов оборудования, технологий, материалов и услуг, программного обеспечения, усугубляющаяся монопольным положением их поставщиков;

недостаточное развитие нормативно-правовой базы, сдерживающее внедрение инновационных технологий, в том числе технологий использования возобновляемых источников энергии, распределенной генерации электрической энергии и цифровых технологий в сфере энергетики;

недостаточная инновационная активность организаций топливно-энергетического комплекса и организаций, осуществляющих деятельность в смежных отраслях экономики, ориентация таких организаций на импорт технологий вместо развития отечественного научно-технологического потенциала;

недостаточный для инновационного развития текущий и перспективный объем спроса на внутреннем рынке на основные виды продукции российского топливно-энергетического комплекса, обостряющий зависимость от объема спроса и конъюнктуры мировых рынков традиционных энергетических ресурсов;

критическая зависимость организаций топливно-энергетического комплекса от импорта технологий, оборудования, материалов, услуг и программного обеспечения по ряду наиболее перспективных направлений развития энергетики;

дефицит инвестиционных ресурсов, в том числе вследствие сдерживания роста тарифов в сфере энергетики, ограничения возможности привлечения организациями топливно-

энергетического комплекса долгосрочного финансирования со стороны иностранных инвесторов и слабого развития венчурного кредитования;

недостаточный уровень защищенности инфраструктуры и объектов топливно-энергетического комплекса от актов незаконного вмешательства и опасных природных явлений;

недостаточные темпы реагирования системы профессионального образования на изменение потребности организаций топливно-энергетического комплекса в квалифицированных кадрах.

### **3. Альтернативные сценарии развития энергетики**

104. Во всех сценариях развития энергетики основные неопределенности связаны с экономикой и политикой. При этом что касается климатических изменений, практически нет сомнений, что их существующий уровень уже необратим и ситуацию будет только ухудшаться, по крайней мере, на период до 2050 года, непоределенность заключается только в том, насколько сильными и быстрыми они будут.

105. Энергопереход потребует не только масштабных или даже беспрецедентных инвестиций и социальный изменений, но сама его возможность и темпы в плане глобальной или национальной экономики определяются соответствующим экономическим потенциалом, который при построении сценариев может трактоваться как производное от трех факторов: объема ВВП, уровня благосостояния населения и темпов экономического роста.

106. Применительно к экономическому потенциалу как предпосылке и условию энергетического перехода возможны два крайних варианта:

А. Высокий экономический потенциал. В глобальном плане это означает устойчивый и достаточно высокий, с темпом 3-4 %, рост мировой экономики с низкой инфляцией. Такая тенденция возможна благодаря приобретению устойчивости к пандемиям, высоким темпам развития стран Азиатско-Тихоокеанского региона, Южной Азии и отчасти Африки наряду с умеренными темпами роста стран-членов ОЭСР.

Применительно к Российской Федерации указанное условие означает, как минимум, устойчивый экономический рост в 3-3,5 % (выше мирового) в сочетание с низкой инфляцией и макроэкономической стабильностью.

В связи с тем, что экономика стран с формирующимся рынком и развивающихся стран весьма энергоемкая, а энергетика технологически отстает от передового уровня, указанный экономический рост будет сопровождаться высоким спросом на энергоресурсы.

Б. Низкий экономический потенциал. В глобальном плане это означает неустойчивый и сравнительно низкий экономический рост в пределах до 2,5 %, перемежающийся кризисами, вследствие накопленных структурных дисбалансов, высокого уровня задолженности, монетарного «перегрева», роста торгового протекционизма, внутри- и межгосударственных конфликтов и иных факторов. Спрос на энергоресурсы будет, как минимум, нестабильным.

В частности, ЦБ Российской Федерации в одном из альтернативных базовому сценариев предусматривает в период до 2026 года глобальный финансовый кризис, а ЦМАКП в тот же период допускает «структурный кризис», причем российский ВВП при этом будет расти в лучшем случае на 1,5 %.

107. В плане политики основные вызовы для энергетики связаны с климатической повесткой как главным в настоящее время и, как минимум, на среднесрочную перспективу политическим драйвером энергетического перехода. Политика в данном случае включает не только заявления и действия собственно политических национальных и глобальных институтов, но и политику финансовых кругов в отношении кредитования и инвестиций.

108. Возможными крайними вариантами политики в данном случае являются:

В. Мягкая климатическая политика, которая предполагает реализацию тех мер по декарбонизации, которые не только заявлены странами мира, но уже осуществляются, а также:

умеренный, не препятствующий технологической модернизации и развитию уровень углеродного налога и другой финансовой нагрузки на энергоемкие отрасли промышленности (металлургия, производство цемента, химический и нефтехимический комплекс) и энергетику;

отсутствие регуляторных запретов на инвестиции в проекты в сфере традиционной энергетики (включая атомную энергетику) при соответствующем уровне их экологических характеристик и использовании соответствующих технологий снижения углеродного следа (например, CCUS);

стимулирование добровольной ESG-трансформации компаний;

доступность государственного «зеленого» финансирования и частных инвестиций в указанные проекты.

Г. Жесткая климатическая политика, которая предполагает не только полное выполнение Парижского соглашения, но, согласно сценарию «The new Net Zero Emissions by 2050» МЭА, принятия в течение следующих десяти лет ряда более радикальных дополнительных мер, чтобы добиться чистого нулевого уровня глобальных выбросов к 2050 году. Указанные жесткие меры включают, например, уже объявленные некоторыми странами:

форсированное прекращение добычи угля и закрытие угольных электростанций;

выход институциональных инвесторов из углеводородных проектов;

обязательная ESG-трансформация всех видов бизнеса;

существенная финансовая нагрузка в целях обнуления выбросов на все сектора экономики;

действенные меры поощрения (субсидии) или принуждения (штрафы, ограничения) к изменению потребительского поведения.

109. Сочетания четырех указанных альтернатив очерчивают пространство возможного будущего и формируют четыре сценария, основные решения в рамках которых должны быть приняты в реализацию в течение ближайших 10 лет.

110. Во всех сценариях предполагается осуществление цифровой трансформации, а также децентрализации, хотя и с разной скоростью, и в разном масштабе в зависимости от доступных финансовых ресурсов.

**111. Сценарий «Форсированный энергопереход»:** основан на сочетании высокого экономического потенциала и жесткой климатической политики. Сценарий характеризуется (но не исчерпывается) следующим:

высокие темпы электрификации транспорта и технологических процессов в отраслях промышленности, строительстве и ЖКХ;

катастрофическое падение инвестиционной привлекательности угольной, нефтяной и газовой отраслях, а также тепловой энергетики из-за жесткого административного и фискального регулирования в целях ускоренного снижения выбросов, массового улавливания, утилизации и захоронения углерода;

масштабные инвестиции в возобновляемую и водородную энергетику с целью быстрого замещению углеводородной генерации в энергетике и перевода транспорта на электроэнергию и водород;

ужесточение конкуренции за технологии производства и использования ВИЭ, накопителей энергии и водорода, образование дефицита указанных технических систем, оборудования, материалов и рост цен на них;

существенный рост себестоимости электроэнергии вследствие необходимости массового строительства объектов возобновляемой энергетики и систем накопления энергии, а также обеспечения их резервирования и защиты от неблагоприятных природных явлений, который, однако, может в тех или иных случаях нивелироваться за счет эффектов массового производства и низкой стоимости заимствований на «зеленые» проекты;

возможные дисбалансы в энергетике вследствие расхождения спроса и предложения на те или иные виды топлива и энергии, а также разной скорости развития различных звеньев производственно-технологической цепочки производства и потребления топливно-энергетических ресурсов;

необходимость обеспечения ускоренной адаптации населения к переходу на новые технологии и новому образу жизни.

Черты данного сценария так или иначе присутствуют во всех так называемых «агрессивных» и амбициозных сценариях достижения углеродной нейтральности.

**112. Сценарий «Эволюционный энергопереход»:** (высокий экономический рост и мягкая климатическая политика). Сценарий характеризуется (но не исчерпывается) следующим:

оптимизация национальных топливно-энергетических балансов в интересах развития национальной экономики и достижения целей Парижского соглашения, с учетом доступных ресурсов и на основе широкого международного технологического и экономического сотрудничества;

умеренные темпы электрификации транспорта и технологических процессов в отраслях промышленности, строительстве и ЖКХ;

рост инвестиций в газовую отрасль и широкое использование природного газа в качестве переходного топлива;

снижение инвестиционной привлекательности угольной и нефтяной отраслей, а также тепловой энергетики в основном под влиянием рыночных механизмов (формирование глобального рынка обращения углеродных единиц и международное признание сертификатов происхождения электроэнергии);

активное развитие атомной энергетики («Атомный Ренессанс»);

стимулирование развития и применения систем улавливания, утилизации и хранения углерода;

постепенный переход к масштабному производству водорода и массовому использованию его в качестве топлива;

умеренные темпы роста себестоимости электроэнергии за счет постепенного снижения удельных капитальных затрат в возобновляемой и водородной энергетике в результате технологического развития.

Достижение углеродной нейтральности в сценарии «Сбалансированный энергопереход» вероятно, как минимум, на 10 лет позже, чем в случае «Форсированного энергоперехода».

Такого рода сценарии нередко рассматриваются сегодня как «базовые».

**113. Сценарий «Энергетическая эволюция»:** низкий экономический потенциал и мягкая климатическая политика). Сценарий характеризуется (но не исчерпывается) следующим:

более медленное, регулируемое на основе, главным образом, экономической целесообразности осуществление преобразований, аналогичных сценарию «Эволюционного энергоперехода», с приоритетом на энергосбережение и повышение энергоэффективности во всех секторах экономики

инвестиционная привлекательность угольной, газовой и нефтяной отраслей определяется в основном под влиянием рыночных механизмов на основе компромисса между климатической повесткой и обеспечением энергетической безопасности;

сохранение инвестиций в строительство и модернизацию ТЭС в масштабе, необходимом для обеспечения устойчивого энергообеспечения;

рост инвестиций в использование ВИЭ в сферах, где они показывают сопоставимую экономическую эффективность с традиционными источниками энергии;

опытная эксплуатация электротранспорта и водородных технологий с постепенным переходом к их массовому использованию в случае подтверждения их экономической эффективности;

стабилизация или умеренный рост себестоимости энергоносителей и электроэнергии в результате конкуренции между энергоносителями и технологического развития.

Декарбонизация в данном сценарии осуществляется еще более медленными темпами, чем в предыдущем сценарии.

**114. Сценарий «Энергетическая сингулярность»:** низкий экономический потенциал и жесткая климатическая политика. Сценарий характеризуется (но не исчерпывается) следующим:

активная электрификация транспорта и технологических процессов в отраслях промышленности, строительстве и ЖКХ, происходящая в условиях низких темпов экономического роста, низкого платежеспособного спроса на «зеленую» энергию и ограниченных инвестиционных ресурсов;

резкое сокращение инвестиционных ресурсов в традиционной энергетике за счет жесткого административного и фискального регулирования в целях ускоренного снижения выбросов, а также массового улавливания, утилизации и захоронения углерода, сочетающееся с низким спросом на энергоресурсы, и, как результат, снижение надежности и устойчивости энергоснабжения в централизованных электроэнергетических системах;

доступность ограниченных инвестиционных ресурсов (в том числе государственных) только для ВИЭ, водородной энергетики и проектов по улавливанию, утилизации и захоронению углерода;

резкие колебания себестоимости энергоносителей и электроэнергии в результате невозможности своевременно компенсировать недопоставку энергоресурсов от ВИЭ за счет традиционной энергетики;

критическая зависимость энергетических систем от неблагоприятных природных явлений.

По аналогии с ситуацией пандемии 2020 года можно предположить, что темпы декарбонизации в данном сценарии могут оказаться довольно высокими, но на краткие периоды экономических шоков.

**115.** Вследствие существенных разрывов в экономике, технологическом уровне и социально-политическом развитии между разными странами вероятность глобализации какого-либо сценария из перечисленных представляется крайне низкой. Наиболее вероятной является реализация разных сценариев на региональном и национальном уровне, причем на национальном уровне не исключено принуждение к тому или иному сценарию извне.

## **4. Макроэкономические, структурные и институциональные условия научно-технологического развития ТЭК**

### **Макроэкономические и структурные условия**

116. Российский ВВП за 5 лет к 2020 году вырос на 3,86 % и составил 88 749,8 млрд руб.

На протяжении последних лет структура ВВП по счету использования в целом оставалась стабильной. На долю расходов на конечное потребление приходится около половины всего ВВП. В 2019 году удельный вес расходов на конечное потребление домашних хозяйств сократился по сравнению с 2017 годом на 2,5 п.п. Сокращение экспорта в структуре ВВП по счету использования в 2019 году на 2,2 п.п. по сравнению с предыдущим годом во многом обусловлено замедлением мировой экономики и сокращением спроса, особенно на энергетические товары со стороны Китая и Европейского союза, перенасыщением топливом на этом рынке в результате теплой зимы и, как следствие, снижением цен.

117. С начала 2017 года для России был характерен стабильный рост конечного потребления во многом за счет увеличения потребления домашних хозяйств. Эта же тенденция наблюдалась в 2019 году: экономический рост обеспечивался увеличением потребительского спроса, что является причиной сохранения относительно высоких рисков замедления экономики, особенно с учетом динамики реальных располагаемых доходов.

118. В 2020 году развитие российской экономики происходило в условиях уникального по своей природе экономического кризиса. Двухмесячный глобальный локдаун и рекордное падение цен на нефть привели к заметному ухудшению ситуации в экономике, а ВВП по итогам года сократился на 3,1 %.

119. В 2015–2020 гг. Россия по добыче нефти (включая газовый конденсат) делила первое–второе место в мире с Саудовской Аравией и была вторым в мире экспортёром нефти. По экспорту газа Россия сохранила первое место.

120. Объем добычи нефти и газового конденсата по итогам 2020 года составил 512,8 млн т (по данным Росстата 512,1 млн т), что на 48,4 млн т (минус 8,6%) меньше, чем в 2019 году.

Экспорт сырой нефти нарастал с 2015 года (245,5 млн т) по 2019-й (269,2 млн т), в 2020 году произошло снижение (239,2 млн т).

Экспорт нефтепродуктов с 2015 года монотонно снижался со 171,7 млн т до 141,8 млн т.

121. По состоянию на 01.01.2021 добычу природного и попутного нефтяного газа на территории страны осуществляют 260 предприятий, в том числе: 76 входящих в состав вертикально-интегрированных нефтяных холдингов (ВИНК), 15 дочерних компаний в составе ПАО «Газпром», 8 структурных подразделений ПАО «НОВАТЭК», 158 независимых

нефтегазодобывающих компаний и 3 предприятия, работающие на условиях соглашений о разделе продукции (операторы СРП).

В 2020 году суммарная добыча газа (природного и попутного нефтяного) в Российской Федерации по отношению к 2019 году снизилась на 6,1% и составила 692,9 млрд куб. м.

Экспорт российского природного газа с 2015 по 2020 год вырос на 9,2% и достиг 202,5 млрд куб. м. Доля стран дальнего зарубежья в структуре экспорта природного газа увеличилась на 4,6% и составила 82,6%. Однако из-за сокращения цен на мировом рынке природного газа при росте объема экспорта природного газа сократилась его совокупная стоимость: с 2015 по 2020 гг. стоимость экспортированного природного газа сократилась на 38,5% и составила в 2020 году 25 682,9 млн долларов.

122. Добыча угля выросла с 386,9 млн т в 2016 году до 440,7 млн т в 2019 году, и снизилась до 402,1 млн т в 2020 году. В 2020 году спрос на российский уголь на мировом рынке, несмотря на кризис, оставался стабильным, хотя и снизился по сравнению с 2019 годом в целом на 4,1 % до 212,2 млн т (при этом экспорт в страны АТР и Ближнего Востока вырос на 10,6 %). Завершается реализация комплекса мер по реструктуризации угольной промышленности России, осуществляемых за счет средств федерального бюджета.

123. С 2015 по 2018 годы потребление угля и нефтепродуктов сократилось, их совокупная доля в топливно-энергетическом балансе снизилась с 33 до 29 %, объем потребления газа увеличивался в среднем на 3,5 % в год. Объем потребления неуглеводородной первичной энергии (гидроэнергия, ядерное топливо и возобновляемые источники энергии) прирастал в среднем на 1,5 % в год, при этом абсолютным лидером по темпам роста стал сегмент солнечной и ветровой энергетики (13 %).

124. Прогнозируется, что реализация климатических целей, объявленных странами мира, может привести к снижению спроса на нефть в среднем на 0,6% в год в 2019-2030 гг. до 93 мбс к 2030 году. Перспектива снижения спроса в виду усиления климатических политик увеличивает конкуренцию между странами-производителями нефти. Низкая себестоимость добычи нефти в России (20-40 долл. /барр.) позволит сохранить конкурентоспособность и сравнительно большие объемы добычи и экспорта даже в при низких ценах. Однако возможно снижение экспорта российской нефти к 2040 году относительно 2019 года от 11 % (до 238,2 млн т) до 55 % (до 119,1 млн т), с соответствующим снижением выручки компаний и поступлению в бюджет.

125. Россия сегодня и на перспективу является наиболее конкурентоспособным поставщиком природного газа. Согласно большинству прогнозов, мировой спрос на газ, как минимум, сохранится, а в сценариях «Сбалансированного энергоперехода» и «Энергетической эволюции» вырастет. В связи с этим экспорт российского газа к 2040 году может увеличиться

на 33% до 358,8 млрд куб. м. Однако в случаях реализации неблагоприятных сценариев возможно снижение на 8% до 247,4 млрд куб. м.

126. В соответствии с Указом Президента Российской Федерации от 04.11.2020 № 666 «О сокращении выбросов парниковых газов» к 2030 году уровень выбросов парниковых газов в стране должен сократиться на 30 % от уровня 1990 года, при условии максимально возможного учета поглощающей способности лесов.

В большинстве стран мира основной объем выбросов приходится на энергетику, транспорт и промышленность. Эта же тенденция наблюдается в России, однако доля транспортного сектора в России ниже среднемировой (14 % против 21 %), а энергетики – выше (46 % против 37 %).

### **Институциональные условия развития инновационной деятельности**

127. *Нормативное правовое регулирование.* За время, прошедшее с утверждения Прогноза-2016, на государственном уровне был принят ряд важных правовых актов, стимулирующих научно-технологическое развитие в сфере энергетики:

Стратегия научно-технологического развития Российской Федерации, утвержденная Указом Президента Российской Федерации от 01.12.2016 № 642;

Доктрина энергетической безопасности Российской Федерации, утвержденная Указом Президента от 13.05.2019 № 216;

Указ Президента Российской Федерации от 07.05.2018 № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года» (далее – Указ № 204);

Указ Президента Российской Федерации от 21.07.2020 № 474 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года» (далее – Указ № 474);

Указ Президента Российской Федерации от 04.11.2020 № 666 «О сокращении выбросов парниковых газов»;

Энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2035 года, утвержденная распоряжением Правительства Российской Федерации от 09.06.2020 №1523-р (далее – Энергетическая стратегия) и план мероприятий по реализации Энергетической стратегии, утвержденный распоряжением Правительства Российской Федерации от 01.06.2021 № 1447-р;

Программа развития угольной промышленности России на период до 2035 года, утвержденная распоряжением Правительства Российской Федерации от 13.06.2020 №1582-р;

Генеральная схема развития нефтяной отрасли Российской Федерации на период до 2035 года, одобренная на заседании Правительства Российской Федерации 13.05.2021;

Генеральная схема развития газовой отрасли Российской Федерации на период до 2035 года, одобренная на заседании Правительства Российской Федерации 13.05.2021;

долгосрочная программа развития производства сжиженного природного газа в Российской Федерации, включающая план мероприятий по реализации долгосрочной программы развития производства сжиженного природного газа в Российской Федерации, утвержденная распоряжением Правительства Российской Федерации от 16.03.2021 № 640-р;

план мероприятий («дорожная карта») по развитию рынка малотоннажного сжиженного природного газа и газомоторного топлива в Российской Федерации на период до 2025 года, утвержденная распоряжением Правительства Российской Федерации от 13.02.2021 № 350-р;

Стратегия развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации до 2035 года, утвержденная распоряжением Правительства Российской Федерации от 22.12.2018 № 2914-р;

Концепция развития водородной энергетики в Российской Федерации, утвержденная распоряжением Правительства Российской Федерации от 05.08.2021 № 2162-р;

Концепция по развитию производства и использования электрического автомобильного транспорта в Российской Федерации на период до 2030 года, утвержденная распоряжением Правительства Российской Федерации от 23.08.2021 № 2290-р;

Сводная стратегия развития обрабатывающей промышленности Российской Федерации до 2024 года и на период до 2035 года, утвержденная распоряжением Правительства Российской Федерации от 06.06.2020 № 1512-р.

128. Основополагающим документом развития в сфере энергетики является Энергетическая стратегия, которая предусматривает ускоренный переход к более эффективной, гибкой и устойчивой энергетике, способной адекватно ответить на вызовы и угрозы в своей сфере, преодолеть имеющиеся проблемы, максимально содействовать социально-экономическому развитию страны и укреплению ее позиций в мировой энергетике.

129. В целях развития проекта о концессионных соглашениях принят Федеральный закон от 08.12.2020 № 401-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «О концессионных соглашениях» в части заключения, исполнения и изменения концессионных соглашений в отношении объектов по производству, передаче и распределению электрической энергии». Документ призван обеспечить снижение рисков концессионеров при передаче в концессию объектов электроэнергетики, привлечь дополнительные инвестиции в сферу электроснабжения за счет создания юридических гарантий предсказуемости и неизменности регуляторных условий для концессионера на всем протяжении срока действия концессионного соглашения.

130. *Государственная программа Российской Федерации «Развитие энергетики»,* утвержденная постановлением Правительства Российской Федерации от 15.04.2014 (ред. от 31/07/2021) № 321 (далее – Госпрограмма). Госпрограмма соответствует направлениям государственной политики в сфере энергетики, определенных в Энергетической стратегии и увязана с достижением результатов 1-го этапа реализации Энергетической стратегии и плана

мероприятий по реализации Энергетической стратегии, отвечает положениям Указа № 204 и Указа № 474, а также учитывают ряд других правовых актов. Цели госпрограммы:

цель 1 – продуктовая и географическая диверсификация экспорта энергетических ресурсов;

цель 2 – повышение эффективности обеспечения потребностей внутреннего рынка Российской Федерации соответствующими объемами производства продукции и услуг отраслей ТЭК;

цель 3 – уменьшение негативного воздействия отраслей ТЭК на окружающую среду и адаптацию их к изменениям климата;

цель 4 – повышение инвестиционной активности в отраслях ТЭК.

Госпрограмма содержит основные мероприятия и меры правового регулирования, в том числе направленные на научно-технологическое развитие отраслей ТЭК.

**131. Институты развития** (включая банки развития). Институты развития оказывают финансовую поддержку инновационных проектов либо целевым образом без конкурса, либо по конкурсному отбору проектов, направленных на развитие отраслевых критических технологий и реализацию мер государственной научно-технической политики.

**132. Программы инновационного развития компаний с государственным участием.**

Программы инновационного развития (ПИР) разрабатываются в соответствии с поручением Президента Российской Федерации от 04.01.2010 № Пр-22. Правительственной комиссией по высоким технологиям и инновациям первоначально в 2011 году был утвержден перечень из 47 компаний, в 2012 году перечень был расширен до 60 компаний и включает ряд госкомпаний ТЭК.

ПИР описывают комплекс мероприятий, направленных на разработку и внедрение новых технологий, разработку, производство и вывод на рынок новых инновационных продуктов и услуг, соответствующих мировому уровню, содействие модернизации и технологическому развитию компаний путем значительного улучшения основных показателей эффективности производственных процессов.

Для повышения эффективности реализации ПИР, управления результатами интеллектуальной деятельности ведущими российскими энергокомпаниями внедряются системы инновационного менеджмента и системы управления знаниями.

**133. Соглашения между Правительством Российской Федерации и компаниями ТЭК в целях развития в Российской Федерации высоких технологий.**

В целях развития высоких технологий в отраслях ТЭК Правительством Российской Федерации во исполнение поручений Президента Российской Федерации от 02.07.2019 № Пр-1186 по определению механизмов финансирования отдельных направлений развития высоких технологий введен институт соглашений Правительства Российской Федерации с ключевыми организациями ТЭК и заключены соглашения:

с ПАО «НК «Роснефть» о сотрудничестве в целях решения задач ускоренного развития генетических технологий в Российской Федерации;

с ПАО «Россети» о развитии в стране высокотехнологичной области «Технологии передачи электроэнергии и распределенных интеллектуальных энергосистем».

В рамках реализации указанных соглашений разработаны и утверждены планы мероприятий («дорожная карта») развития соответствующей высокотехнологичной области, включающий, в том числе, целевые показатели технологического развития, количественные характеристики созданных результатов интеллектуальной деятельности и научных исследований, детализированный перечень мероприятий с момента подписания соглашения до 2024 года. Проводится работа по определению центров компетенций на базе организаций, обладающих компетенциями по разработке и внедрению технологий, соответствующих тематике соглашения. Ведется работа с АО «Российская Электроника», ПАО «Ростелеком», Госкорпорацией «Росатом», ОАО «РЖД» в части их возможного участия как центров компетенций, подтверждения продуктовых направлений и условий их участия в реализации соглашения Правительства Российской Федерации с ПАО «Россети» и соответствующей дорожной карты.

Приняты решения о подписании соглашений о намерениях между Правительством Российской Федерации и ПАО «Газпром» в целях развития в Российской Федерации высокотехнологичной области «Развитие водородной энергетики и декарбонизация промышленности и транспорта на основе природного газа», и между Правительством Российской Федерации и ПАО «Транснефть» в целях финансирования развития высоких технологий.

**134. Комплексные научно-технические программы и проекты полного инновационного цикла.** Планом реализации Стратегии научно-технологического развития предусмотрена реализация комплексных научно-технических программ полного инновационного цикла и комплексных научно-технических проектов полного инновационного цикла (далее – КНТП).

Согласно постановлению Правительства Российской Федерации от 19.02.2019 № 162 «Об утверждении Правил разработки, утверждения, реализации, корректировки и завершения комплексных научно-технических программ полного инновационного цикла и комплексных научно-технических проектов полного инновационного цикла в целях обеспечения реализации приоритетов научно-технологического развития Российской Федерации» КНТП представляет собой совокупность скоординированных по задачам, срокам и ресурсам работ, включающих научные исследования и этапы инновационного цикла, включающего основные этапы от получения новых фундаментальных знаний до их практического использования, создания технологий, продуктов и услуг, и их выхода на рынок с целью коммерциализации научного знания. Правительством Российской Федерации установлен порядок разработки, утверждения, реализации, корректировки и завершения КНТП.

В отборе и формировании программ и проектов непосредственно участвуют Минобрнауки России, президиум Совета по науке при Президенте Российской Федерации и советы по направлениям НТР. Советы по направлениям НТР являются площадками для выявления приоритетных задач, в решении которых заинтересованы как коммерческие, так государственные заказчики. Определены понятия:

«инициатор комплексной программы и проекта», которым может быть не только заинтересованный орган государственной власти, но и организации реального сектора экономики, общественные объединения и институты развития, при этом заказчики должны участвовать в программах собственными (внебюджетными) средствами;

«ответственный исполнитель», координатор КНТП, – федеральный орган исполнительной власти, осуществляющий функции по выработке государственной политики и нормативно-правовому регулированию в соответствующей области, который вносит проект КНТП в Правительство Российской Федерации, координирует его реализацию, готовит ежегодный отчет о ходе реализации.

Реализация КНТП финансируется из федерального бюджета (соответствующие средства предусматриваются в государственных программах, прежде всего в государственной программе «Научно-технологическое развитие Российской Федерации»), а также из региональных, местных бюджетов и внебюджетных источников.

Правительство Российской Федерации контролирует расходование бюджетных средств и ход программ и проектов. В течение трёх лет после завершения программ исполнители будут обязаны дать отчёт о достижении заявленных результатов.

В настоящее время Минэнерго России ведет активную работу с Советом по приоритетному направлению научно-технологического развития Российской Федерации «Переход к экологически чистой и ресурсосберегающей энергетике, повышение эффективности добычи и глубокой переработки углеводородного сырья, формирование новых источников, способов транспортировки и хранения энергии» по отбору программ и проектов полного инновационного цикла.

В 2019 году Минэнерго России были одобрены три проекта КНТП:

«Разработка критических технологий высокоэффективных микрогазотурбинных энергоустановок мощностного ряда 30-200 кВт с апробацией в серийном производстве уникальных узлов базовой установки мощностью 30 кВт для решения актуальных задач энергоснабжения потребителей специального и гражданского назначения в отдаленных регионах страны»;

«Разработка с последующим освоением производства комплексных систем автономного энергоснабжения на основе электрохимических источников тока высокой мощности с топливными процессорами»;

«Синтетические смазочные материалы для экстремальных условий».

В 2020 году Минэнерго России разработана и начата реализация первой в Российской Федерации КНТП полного инновационного цикла «Разработка и внедрение комплекса технологий в областях разведки и добычи твердых полезных ископаемых, обеспечения промышленной безопасности, биоремедиации, создания новых продуктов глубокой переработки из угольного сырья, при последовательном снижении экологической нагрузки на окружающую среду и рисков для жизни населения» («Зеленый Кузбасс»).

**135. Дорожная карта «Энерджинет» Национальной технологической инициативы.**

Еще одним направлением, способствующим развитию инновационной деятельности компаний ТЭК в целях ускорения технологического развития России и увеличения количества организаций, осуществляющих технологические инновации, является реализация «дорожной карты» «Энерджинет» Национальной технологической инициативы (НТИ), одобренная президентом Совета при Президенте Российской Федерации по модернизации экономики и инновационному развитию России в 2016 году и направленная на обеспечение развития отечественных комплексных систем и сервисов интеллектуальной энергетики и лидерства российских компаний на новых высокотехнологичных рынках мировой энергетики.

Для решения задач «Энерджинет» создана соответствующая инфраструктура, включающая Инфраструктурный центр «Энерджинет» (на базе Центра стратегических разработок) и центры компетенций базе МЭИ, МФТИ, ИПХФ РАН.

Межведомственной рабочей группой по реализации Национальной технологической инициативы при Правительственной комиссии по модернизации экономики и инновационному развитию России в рамках дорожной карты «Энерджинет» одобрено к реализации семь проектов, из них три по направлению «Надежные и гибкие распределительные сети», три по направлению «Интеллектуальная распределенная энергетика», и один комплексный проект, объединяющий все указанные направления. К 2021 году:

завершены два проекта по созданию «Цифровых районов электрических сетей» в Калининградской области и Республике Крым, направленные на отработку технологий для создания электрической сети нового технологического уклада, обеспечивающего надёжность, качество, доступность и заданный уровень потерь на уровне мировых показателей при минимальной себестоимости владения;

завершен комплексный проект по разработке и реализации на натурной модели референтной архитектуры «Интернета энергии», в рамках которого на базе НИУ «МЭИ» создан

полигон Testbed EnergyNet - модельный комплекс реального времени для тестирования новых образцов оборудования, используемого в распределенной энергосистеме. Также разработан натурный прототип энергетической системы, интеграция компонентов и управление которой осуществляется с использованием прототипов решений с использованием технологии «блокчейн» и смарт-контрактов;

остальные четыре проекта по направлениям «Надежные и гибкие распределительные сети» и «Интеллектуальная распределенная энергетика» находятся в стадии реализации со сроками завершения в 2021-2022 годах.

В целях создания условий для выхода на рынок субъектов в принципиально новых видах деятельности с инновационными бизнес-моделями продолжается реализация плана мероприятий («дорожной карты») по совершенствованию законодательства и устранению административных барьеров в целях обеспечения реализации Национальной технологической инициативы по направлению «Энерджинет», утвержденного распоряжением Правительства Российской Федерации от 28.04.2018 № 830-р.

Распоряжением Правительства Российской Федерации от 09.06.2020 № 1526-р в «дорожной карте» актуализированы сроки и состав мероприятий, предусматривающие последовательное устранение законодательных барьеров для создания и внедрения новых технологий, продуктов в энергетической отрасли и рынках «Энерджинет», развитие интеллектуальной энергетики, систем хранения электрической энергии, реализации пилотных проектов для отработки сценариев развития новых бизнес-модели в сфере регулирования электро- и тепло-энергетики. Реализация дорожной карты будет осуществляться поэтапно с 2020 по 2035 год.

**136. Инновационные научно-технологические центры (ИНТЦ).** В соответствии с Федеральным законом от 29.07.2017 № 216-ФЗ «Об инновационных научно-технологических центрах и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» создание сети ИНТЦ («технологических долин») направлено на обеспечение синхронизации усилий науки, образования и бизнеса в интересах проведения НИОКР и коммерциализации их результатов, вовлечения студентов и научных сотрудников в разработку технологий, востребованных на рынке.

Развитие сети «технологических долин» в регионах является важным инструментом поддержки высокотехнологичных компаний и стартапов с перспективой экспорта и трансфера технологий с использованием научного и образовательного потенциала ведущих исследовательских университетов при координации с мероприятиями по созданию научных образовательных центров мирового уровня и центров компетенций НТИ.

Создание и функционирование ИНТЦ предусматривают:

формирование единой исследовательской инфраструктуры;

разделение финансовых рисков при создании и развитии сети;

единый перечень сервисов (библиотека исследований и разработок, товаров, технологий и услуг, навигатор мер поддержки участников ИНТЦ);

мониторинг спроса и предложения продукции, услуг, технологий, создаваемых участниками ИНТЦ;

заключение контрактов на условиях субконтрактации и построение кооперационных маршрутов;

банковское сопровождение.

Инициаторами проектов по созданию ИНТЦ могут выступать образовательные организации высшего образования или научные организации, которые соответствуют критериям, установленным Правительством Российской Федерации. Решение о создании центров, а также направления их научно-технологической деятельности принимается Правительством Российской Федерации.

Имущественное, организационное, научно-методическое и экспертно-аналитическое обеспечение деятельности центра осуществляют фонд, который учреждается Правительством Российской Федерации и/или соответствующим вузом, научной организацией. Управление ИНТЦ осуществляется управляющая компания.

Так, Правительством Ивановской области разработана концепция проекта создания ИНТЦ, основным направлением деятельности которого является научно-технологическое развитие посредством внедрения цифровых технологий в электроэнергетике и разработки технических решений по уменьшению негативного воздействия тепловых электростанций на окружающую среду.

Минэнерго России совместно с Минфином России, Минэкономразвития России и Минобрнауки России в соответствии с поручением Правительства Российской Федерации проработало меры государственной поддержки создания научно-технологического центра компетенций в тепловой энергетике в Ивановской области по следующим направлениям:

программа стратегического академического лидерства «Приоритет-30», направленная на поддержку программ развития образовательных организаций высшего образования;

система предоставления грантов на государственную поддержку центров Национальной технологической инициативы на базе образовательных организаций высшего образования и научных организаций;

государственная программа Российской Федерации «Научно-технологическое развитие Российской Федерации».

В настоящее время Минэнерго России ведется совместная работа с правительством Ивановской области по доработке предложений в программу по созданию и развитию

испытательных центров мирового уровня в интересах отраслей топливно-энергетического комплекса.

Минэнерго России совместно с Минобрнауки России, Минэкономразвития России, правительством Санкт-Петербурга, правительством Ленинградской области с участием Санкт-Петербургского государственного морского технического университета, Санкт-Петербургского горного университета и других заинтересованных научных организаций, образовательных организаций высшего образования в соответствии с поручением Правительства Российской Федерации проводит работу по разработке концепции создания инновационного научно-технологического центра «Приморская долина» в области энергетики и нефтегазодобычи на базе Санкт-Петербургского государственного морского технического университета.

Предполагается, что на территории ИНТЦ «Приморская долина» будет осуществляться научно-технологическая деятельность по направлениям «морская робототехника» и «роботизированные технологии», будет предусмотрено создание полигона по тестированию подводной робототехники, предназначенный в том числе для добычи нефти и газа на континентальном шельфе Российской Федерации.

Создание ИНТЦ «Приморская долина» будет направлено на решение в том числе стратегических задач в нефтегазовом комплексе.

**137. Научные образовательные центры мирового уровня (НОЦ).** Научно-образовательный центр мирового уровня (НОЦ) – поддерживаемое субъектом Российской Федерации объединение без образования юридического лица федеральных государственных образовательных организаций высшего образования и (или) научных организаций с организациями, действующими в реальном секторе экономики, и осуществляющий деятельность в соответствии с программой деятельности центра. Основная цель создания научно-образовательных центров мирового уровня заключается в сотрудничестве академической и вузовской науки и привлечении частных инвестиций.

Среди НОЦ, направления деятельности которых отвечают направлениям развития компаний ТЭК, можно упомянуть: «Кузбасс» (Кемеровская область – Кузбасс), «Рациональное природопользование» (Пермский край), «Техноплатформа 2035» (Нижегородская область), Западно-Сибирский межрегиональный НОЦ (Тюменская область, Ханты-Мансийский автономный округ – Югра, Ямало-Ненецкий автономный округ), Уральский межрегиональный НОЦ «Передовые производственные технологии и материалы» (Свердловская область, Челябинская область, Курганская область), «Российская Арктика: новые материалы, технологии и методы исследования» (Архангельская область, Мурманская область, Ненецкий автономный округ) и другие.

## **5. Перспективы научно-технологического развития отраслей ТЭК**

### **Нефтяная отрасль**

138. Перспективное развитие нефтяной отрасли мировые эксперты сегодня во многом связывают с внедрением прорывных технологий добычи сырья: как традиционной нефти, так и шельфовых и трудноизвлекаемых запасов (ТРИЗ). Их применение позволит оптимизировать ресурсную базу, а также вовлечь в разработку запасы многочисленных малодебитных месторождений в действующих и старых нефтедобывающих районах.

139. Для повышения эффективности добычи нефти российские компании уже приступили к промышленной апробации и внедрению новейших, в том числе уникальных, не имеющих аналогов в мире, технологий. В частности:

в начале 2020 года на Среднебутубинском месторождении впервые в мире пробурена многозабойная скважина, состоящая из 15 боковых стволов, каждый из которых делится еще на два, – новая конструкция обеспечит эффективную разработку нефтяного пласта, который имеет большую газовую шапку;

осенью 2019 года на Эргинском кластере был выполнен уникальный стотонный гидроразрыв пласта (ГРП) в песчаниках с помощью маловязкой жидкости на основе синтетического полимера, что значительно сокращает время на подготовку к проведению работ, а также позволяет увеличивать эффективную длину трещин гидроразрыва до 30 % по сравнению со стандартными методами;

весной 2019 года на пластах Бобровского и Скворцовского месторождений была испытана и подтвердила свою технологическую и экономическую эффективность отечественная инновационная технология освоения ТРИЗ, основанная на термогазохимическом воздействии раствором смесей на пласт;

в 2018 году на Красноленинском месторождении был проведен целый ряд испытаний новейших технологий разработки ТРИЗ, которые получат широкое применение при дальнейшем освоении нетрадиционных запасов нефти баженовской свиты (применение раствора на углеводородной основе, технология многостадийного ГРП с высокой скоростью закачки больших объемов жидкостей, метод Pump down Plug).

140. Для повышения надежности и безопасности транспортировки через систему магистральных нефтепродуктопроводов внедряются передовые технологии внутритрубной диагностики, создаются решения для диспетчерского контроля и управления трубопроводами.

141. В сегменте нефтепереработки вследствие сокращения спроса на топочный мазут при одновременном росте спроса на моторное топливо мировой тенденцией стало увеличение глубины переработки нефти. Глубина переработки нефти на современных нефтеперерабатывающих заводах (НПЗ) достигает 90-95 %, а на лучших – 98 %, при этом индекс Нельсона современных НПЗ превышает 10 и достигает 14-15 у лучших из них.

В России, по данным Росстата, благодаря проведенной модернизации НПЗ глубина переработки нефти возросла с 71,6% в 2013 году до 83,7% в 2020 году, но пока в среднем остается ниже показателей для передовых стран, хотя на передовых отечественных предприятиях она сравнялась с показателями современных зарубежных НПЗ. Среднее значение индекса Нельсона российских НПЗ менее 8, однако, на передовых отечественных заводах он уже выше 10.

142. В Энергетической стратегии перед нефтяной отраслью поставлены следующие задачи: обеспечение стабильного, при благоприятных условиях растущего уровня добычи нефти; повышение эффективности, доступности и качества удовлетворения внутреннего спроса на нефтепродукты.

стабилизация объема добычи нефти в Западной Сибири и других традиционных районах добычи;

формирование нефтегазовых минерально-сырьевых центров в Восточной Сибири, на Дальнем Востоке и в Арктической зоне Российской Федерации, обеспечивающих в том числе освоение континентального шельфа Российской Федерации в пределах Баренцева, Карского, Печорского и Охотского морей;

143. Решения отмеченных задач требует разработки и внедрения новых технологий, включая:

технологии комплексной разведки нефтяных месторождений, включая сейсмические электрофизические, магнитометрические, гравиметрические методы разведки, интеллектуальные технологии обработки геофизической и геологической информации, создание цифровых двойников залежей;

технологии добычи трудно извлекаемых и нетрадиционных запасов углеводородов, в том числе на шельфе арктических и дальневосточных морей;

технологии бурения и строительства скважин сложного профиля, цифровые технологии управления бурением, технологии сбора скважинной информации и интеллектуализации ее обработки;

экологически чистые технологии многоступенчатого гидроразрыва пласта (ГРП) и производства специализированного оборудования и материалов для ГРП;

технологии увеличения нефтеотдачи пластов, в том числе тепловые, химические, цифровые технологии управления процессами интенсификации нефтеотдачи пластов;

цифровые технологии управления процессами добычи и транспорта углеводородов в режиме реального времени, цифровые образы объектов нефтегазодобычи (цифровая скважина, цифровое месторождение);

технологии закачки СО<sub>2</sub> в отработанные нефтяные пласты для захоронения, а также для повышения нефтеотдачи пластов;

интеллектуальные технологии мониторинга и диагностики нефтепроводов и нефтепродуктопроводов;

технология спутникового мониторинга выбросов в атмосферу метана и других газообразных углеводородов в ходе добычи, транспортировки и переработки углеводородного сырья;

144. Для дальнейшего развития сегмента нефтепереработки в России необходимо развитие технологий:

переработки нефти для увеличения выхода светлых продуктов, повышения качества производимых моторных топлив и масел;

переработки тяжелого нефтяного сырья и гудронов с производством моторных топлив и других продуктов.

### **Газовая отрасль**

145. В газовой отрасли наибольший интерес сегодня представляют технологии для развития сектора сжиженного природного газа (СПГ), а также для реализации сложных проектов по добыче сырья на морском шельфе и в Арктическом регионе.

146. Для развития собственных технологий российскими компаниями начато освоение производства оборудования для СПГ:

реализуется проект создания первого российского теплообменника для четвертой очереди завода «Ямал СПГ»;

изготовлен центробежный компрессор для холодильного цикла для завода «Криогаз – Высоцк»;

в 2018 году запатентована российская технология сжижения природного газа «Арктический каскад».

147. Для обеспечения трубопроводной транспортировки российской промышленностью:

освоен выпуск высокопрочных труб большого диаметра, эксплуатация которых, по оценкам, рассчитана не менее, чем на 50 лет;

разработаны технологии снижения шероховатости внутренней поверхности труб, их наружного антикоррозийного покрытия и ультразвукового контроля сварных стыков, позволяющие обеспечить долговечность и качество эксплуатации газопроводов.

148. В Энергетической стратегии перед отраслью поставлены следующие задачи:
- совершенствование внутреннего рынка газа и эффективное удовлетворение внутреннего спроса на газ;
  - гибкое реагирование на динамику мирового рынка газа;
  - развитие производства и потребления сжиженного природного газа, вхождение Российской Федерации в среднесрочной перспективе в число мировых лидеров по его производству и экспорту;
  - развитие производства и увеличение объема потребления газомоторного топлива (в том числе с использованием сжиженного природного газа);
  - формирование нефтегазовых минерально-сырьевых центров в новых районах (Восточная Сибирь и Дальний Восток) и на континентальном шельфе Российской Федерации;
  - развитие магистральной газотранспортной инфраструктуры (включая создание газотранспортной инфраструктуры в Восточной Сибири и на Дальнем Востоке);
  - социально и экономически целесообразное повышение уровня газификации субъектов Российской Федерации с учетом особенностей региональных топливно-энергетических балансов
- Решение этих задач потребует разработки и внедрения новых технологий, включая технологии:
- комплексной разведки газовых и газоконденсатных месторождений, интеллектуальные технологии обработки геофизической и геологической информации;
  - бурения и строительства газовых скважин, цифровые технологии управления бурением, технологии сбора скважинной информации и ее обработки;
  - производства СПГ, в том числе малотоннажного;
  - хранения СПГ, включая плавучие и подземные газохранилища, регазификации СПГ, надежное и безопасное криогенное оборудование;
  - технологии морской и наземной транспортировки СПГ;
  - технологии выделения этана, сжиженных углеводородных газов, гелия и других ценных продуктов из газовых смесей;
  - газохимические технологии и производство соответствующих катализаторов.
149. Для технологического развития газотранспортной системы важными остаются разработки:
- эффективных газоперекачивающих агрегатов;
  - новых высокопрочных материалов для повышения рабочего давления в трубопроводах большого диаметра с целью увеличения пропускной способности труб;
  - новых типов внутренних гладкостных покрытий для снижения гидравлического сопротивления труб и сокращению энергетических затрат на передачу газа;

новых типов наружных антикоррозийных покрытий для снижения коррозионной опасности трубопроводов, повышения срок их службы и сокращения затрат на ремонт; интеллектуальных технологий мониторинга и диагностики газопроводов.

150. Увеличение масштабов газификации регионов страны требует повышения надежности и безопасности эксплуатации систем газоснабжения и расширения использования цифровых приборов учета поставки газа потребителям, развития цифровых интерфейсов рыночного взаимодействия поставщиков и потребителей газа.

151. Для расширения использования природного газа в качестве моторного топлива необходимо технологическое обеспечение заправочной инфраструктуры компримированного и сжиженного природного газа и переоборудование существующей автомобильной техники, включая общественный транспорт и коммунальную технику.

## **Нефтегазохимия**

152. Нефте- и газохимия являются одними из наиболее быстрорастущих отраслей в мировой экономике, в первую очередь за счет опережающего роста производства малотоннажной химической продукции, позволяющей получать широкий ассортимент продуктов конечного спроса с высокой добавленной стоимостью. Мировое производство полимеров превысило 360 млн тонн в год и быстро нарастает. Полимеры и композиционные материалы на их основе получили широкое применение во всех отраслях экономики и в быту, они активно замещают металлы, составляют основу современных теплоизоляционных материалов и т.д.

153. Примером может служить интенсивно растущий спрос на «умную упаковку» из многослойной высокобарьерной полимерной пленки, позволяющую создавать контролируемую среду для хранения продуктов и таким образом продлевать его сроки годности, сохранять питательные вещества, первоначальные вкус, цвет и запах, исключать необходимость использования химических консервантов. Мировые темпы роста спроса на «умную упаковку» в 2-3 раза выше аналогичных показателей для традиционных материалов.

154. Определяющим фактором в развитии мирового рынка полимеров становится усиление требований экологической безопасности и государственного регулирования в сфере обращения пластиковых изделий. Реальную угрозу для экспорта отечественной нефтегазохимической продукции создает ужесточение во многих странах мира природоохранного законодательства, регулирующего обращение полимеров. Прежде всего, это касается пластиковой упаковки и одноразовой посуды – основных сегментов рынка полимерных материалов. В то же время хорошие перспективы спроса имеют разработка и производство легко перерабатываемых и биоразлагаемых пластиков, «дружественных» к окружающей среде.

155. Нефтехимия играет важную роль в экономике замкнутого цикла, участвуя практически на всех этапах цепочки создания и использования продукта. Применение полимерных материалов значительно снижает выбросы углекислого газа по сравнению с традиционными материалами, что отвечает одной из главных целей экономики замкнутого цикла.

156. Снижение выбросов парниковых газов в сегменте производства полимеров и синтетических каучуков возможно за счет использования в продукции вторичного полимерного сырья. Прогнозируется, что среднегодовой темп роста спроса на вторичное полимерное сырьё будет опережать спрос на первичные полимеры и синтетические каучуки, при этом объемы производства вторичных полимеров являются дополнительными объемами к прогнозируемым объемам производства первичного полимера и удовлетворяют потребности рынка во вторичном пластике.

157. В России производится преимущественно крупнотоннажная химическая продукция с невысокой добавленной стоимостью. Интенсивное развитие в стране нефтегазохимии в последние годы позволило в значительной мере решить задачу импортозамещения в отношении них. При производстве 5,5 млн. т крупнотоннажных полимеров импорт их составляет около 0,4 млн тонн (в основном, это полимеры этилена).

В то же время, в стране производится очень мало среднетоннажной и особенно малотоннажной химической продукции, которая необходима для производства товаров конечного спроса, характеризующихся высокой добавленной стоимостью.

158. В Энергетической стратегии перед нефтегазохимией поставлены следующие задачи:  
 эффективное удовлетворение внутреннего спроса на российскую нефтегазохимическую продукцию и повышение ее конкурентоспособности на мировых рынках;  
 повышение эффективности использования нефтегазохимического сырья;  
 формирование центров по глубокой переработке углеводородов с производственным ядром в виде крупных пиролизных мощностей (от 0,6 до 1 млн. тонн по этилену и более) и последующим производством пластмасс, каучуков и продуктов органического синтеза, их переработки в полуфабрикаты и конечные изделия для потребительского рынка.

Для этого, в частности, потребуется разработка и совершенствование технологий глубокой переработки углеводородного сырья с производством востребованных крупно-, средне- и малотоннажных полимерных продуктов с конкурентной стоимостью.

### **Угольная отрасль**

159. Перспективы развития угольной промышленности и ее технологического совершенствования на перспективу до 2035 года остаются предельно неопределенными. При реализации сценария жесткой климатической политики угольная отрасль окажется наиболее

пострадавшей. Причиной этого являются высокие удельные выбросы углекислого газа при использовании угля, которые на единицу полученной тепловой энергии в 1,7 раза выше по сравнению с природным газом и в 1,3 раза по сравнению с нефтью. В случае производства электроэнергии это различие возрастает соответственно до 2,6 и 1,9 раз.

160. Адаптировать угольную энергетику к жесткой климатической политике чрезвычайно сложно из-за дороговизны технологий улавливания и последующего захоронения углекислого газа. В этих условиях обеспечить ее выживаемость можно за счет расширения сфер применения угля, прежде всего, с целью производства широкой гаммы химических продуктов с высокой добавленной стоимостью, которые должны быть конкурентоспособны с продуктами, получаемыми из нефти и природного газа.

161. Промышленное освоение в мире технологий глубокой переработки угля можно признать состоявшимся. Основной областью их применения стало производство из угля разнообразных химических продуктов (водорода, аммиака, метанола, полипропилена и др.), а также синтетических жидкых топлив и заменителя природного газа – синтетического метана, пригодного для подачи в традиционную газовую сеть.

162. Ключевую роль в формировании современной индустрии глубокой переработки угля принадлежит технологиям газификации, которые уже достигли высокого уровня технологической зрелости. Разработано большое количество конструкций газогенераторов, которые могут обеспечить эффективную термохимическую конверсию углей с различными свойствами для производства газа для разных целей. В частности, используя технологии газификации, можно с приемлемыми затратами конвертировать уголь в водород.

163. По мнению экспертов, Российская Федерация близка к потере компетенций в области углепереработки и углехимии.

164. В угольной промышленности технологическое развитие во многом связано с требованиями охраны окружающей среды. Способствовать решению данной задачи будет внедрение в отрасли принципов наилучших доступных технологий (НДТ). В этой связи можно отметить:

получение комплексного экологического разрешения Ростехнадзора шахтой имени С.М. Кирова, на которой уже более десяти лет реализуется проект по утилизации метана, – реконструкция обогатительной фабрики позволила перевести технологический процесс на полностью замкнутый водно-шламовый цикл;

ввод в эксплуатацию сооружений, предназначенных для глубокой очистки шахтных, ливневых и производственных вод на шахте «Листвяжная»;

запуск в 2019 году в порту Владивосток третьей очереди полностью автоматизированного угольного комплекса по перегрузке угля с железнодорожного транспорта на морской –

инновационные технологии экологической безопасности позволяют осуществлять закрытую перевалку, в том числе с применением системы пылеподавления груза на всей технологической цепочке, а также аспирации воздуха и очистки воды.

165. В Энергетической стратегии перед угольной отраслью поставлены следующие задачи: повышение эффективности удовлетворения внутреннего спроса на угольную продукцию; территориально-производственная оптимизация добычи и транспортировки угольной продукции;

укрепление позиций России на мировом рынке угля;

Решение указанных задач требует разработки и применения новых технологий, включая: роботизированные технологии добычи угля без постоянного присутствия людей в рабочем пространстве;

технологии дегазации угольных пластов и утилизации шахтного метана;

интеллектуальные технологии мониторинга состояния горных пород и газовой среды в шахтах;

технологии обогащения и глубокой переработки углей и других твердых топлив в продукты топливного и нетопливного назначения с высокой добавленной стоимостью;

технологии газификации угля;

природоохранные технологии для угледобывающих и углеперерабатывающих производств;

технологий извлечения CO<sub>2</sub> из дымовых газов с последующим его надежным захоронением.

## **Электроэнергетика**

166. Технологическое развитие газовой электрогенерации идет в направлении замещения паротурбинных установок (ПТУ) более дешевыми газотурбинными (ГТУ) и парогазовыми установками (ПГУ), имеющими более высокий КПД, лучшие маневренные свойства и меньшую себестоимость производства электроэнергии. Неуклонно растет единичная мощность ГТУ и ПГУ.

167. КПД современных мощных одновальных газотурбинных установок (ГТУ) простого цикла доведен до 43-44%, а их единичная мощность приблизилась к 600 МВт. КПД парогазовых установок достиг 63-64% при единичной мощности моноблоков 760-870 МВт и дубль-блоков – 1520-1740 МВт. Такие показатели обеспечили им более чем полуторакратную экономию топлива по сравнению с ПТУ и соответствующее уменьшение выбросов CO<sub>2</sub>.

168. Рост КПД ПТУ обеспечен применением новых жаропрочных материалов и барьерных покрытий при конструировании горячей части ГТУ, использованием цифровых технологий и оптимизационных алгоритмов при проектировании основного и вспомогательного оборудования, внедрением аддитивных производственных технологий при изготовлении элементов

компрессоров и теплообменных аппаратов, применением эффективных систем управления установками.

Дальнейшее увеличение КПД ПГУ сопряжено с большими трудностями. Повышение максимальной температуры газотурбинного цикла требует применения новых более дорогих материалов и дает все меньший эффект. При этом最难нее обеспечить контроль выбросов вредных веществ. Реализуются предложения по переходу на более сложные термодинамические циклы и технологические схемы, что может ухудшить маневренные характеристики установок.

169. На угольных электростанциях в мире массово используются ПТУ большой мощности (300-800 МВт и более) на сверхкритических параметрах пара (давление 24 МПа, температура 540-570 °C) с одним промежуточным перегревом, имеющие КПД около 37-40% при работе в номинальном режиме.

Технически освоенным можно считать переход ПТУ на суперсверхкритические параметры пара (ССКП): давление до 30 МПа и температура до 600-620 °C. Это позволяет увеличить КПД угольных электростанций до 43-45% и выше. Рекордные значения КПД достигнуты за счет оптимизации технических характеристик оборудования и технологической схемы энергоблока, при работе на высококачественном угле и с минимальным расходом электроэнергии на собственные нужды электростанции.

170. Угольные энергоблоки на ССКП являются менее маневренными и более дорогими. Поэтому массовый переход угольной энергетики на них в мире не состоялся. В условиях декарбонизации энергетики востребованность их ставится под сомнение.

171. Разработки угольных ПТУ следующего поколения – на ультрасверхкритических параметрах пара (32-35 МПа, 700-750 °C), обещавшие подъем КПД до 50-53%, повсеместно сворачиваются. Причинами стали задержки с созданием соответствующих жаропрочных материалов, ожидающиеся сложности эксплуатации таких энергоблоков и их дороговизна, а также неопределенность спроса на них в условиях декарбонизации энергетики.

172. В Энергетической стратегии перед электроэнергетикой поставлены следующие задачи: повышение надежности и качества энергоснабжения потребителей до уровня, сопоставимого с лучшими зарубежными аналогами, с обеспечением экономической эффективности таких услуг;

повышение эффективности электросетевого комплекса.

В комплекс ключевых мер, обеспечивающих решение задач электроэнергетики, входит улучшение технико-экономических показателей функционирования тепловых электрических станций и электросетевого хозяйства.

173. Около половины установленной мощности тепловых электростанций (ТЭС) Российской Федерации составляют ТЭЦ. Они вырабатывают более половины производимой в

стране электрической и тепловой энергии и потребляют более 64 % всего топлива, ежегодно расходуемого на ТЭС.

174. Технологическую основу российских ТЭЦ составляют паротурбинные установки. В основном это установки старых проектов на низкие параметры пара. Доля современных газотурбинных и парогазовых установок на ТЭЦ составляет менее 19%, около 70-75% установленной электрической мощности ТЭЦ находится в работе более 30 лет. Следствием эксплуатации устаревшего, сильно изношенного и неэффективного оборудования ТЭЦ являются большие производственные расходы, низкая надежность, высокие тарифы на тепловую энергию, большие выбросы вредных веществ в окружающую среду городов.

ТЭЦ характеризуются низкой загрузкой оборудования, составляющей по электрической мощности около 47%, а по тепловой – только 20%. В результате около половины производимой ТЭЦ электроэнергии вырабатывается в неэффективном конденсационном режиме, что ведет к большому перерасходу топлива.

175. Объемы требуемой модернизации ТЭЦ формируют достаточно емкий внутренний рынок для отечественного энергетического оборудования, включая ГТУ и ПТУ небольшой мощности, оправдывающий затраты на его разработку и организацию промышленного производства.

176. При технологическом обновлении газовых ТЭЦ (доля которых превышает 75% мощности всех ТЭЦ) целесообразно активно использовать передовое электрогенерирующее оборудование: ГТУ на небольших ТЭЦ и ПТУ на крупных ТЭЦ. Такие установки характеризуются высокой маневренностью и небольшой удельной стоимостью, что требуется для ТЭЦ.

177. Практически все необходимое оборудование для модернизации газовых ТЭЦ выпускается отечественной промышленностью: вся номенклатура паротурбинного оборудования и котлов-utiлизаторов, ГТУ электрической мощностью 25 МВт и менее. К промышленному производству готовы ГТУ мощностью 110 МВт. Имеется лицензионное производство ГТУ мощностью 80 МВт, но необходимо добиться его полной локализации. Ведется разработка ГТУ мощностью 65 МВт, требующая государственной поддержки. На базе выпускаемого оборудования необходимо разработать оптимизированные тепловые схемы ПТУ различной мощности и типовые проекты ТЭЦ на их основе.

178. Для модернизации угольных ТЭЦ требуется разработка специализированных когенерационных ПТУ с высоким КПД при работе в летнем режиме. Отечественные энергомашиностроительные компании при должной государственной и рыночной поддержке могут это сделать в достаточно короткие сроки.

179. Для модернизации действующих и сооружения новых газовых электростанций нужны отечественные ГТУ большой мощности. Разрабатываемые в стране при государственной

поддержке ГТУ электрической мощностью 170-180 МВт позволяют создавать ПГУ мощностью примерно 250 МВт (моноблоки) и 500 МВт (дубль-блоки). Как показывает зарубежный опыт, КПД таких ПГУ может достигать 55-57% (и даже 60%), что должно стать целевым значением для ведущихся в стране разработок. Для этого нужно повысить термодинамические параметры ГТУ, что требует создания новых жаропрочных материалов и барьерных покрытий, оптимизировать конструкции и параметры основного и вспомогательного оборудования и тепловую схему ПГУ. Важными задачами остаются разработка низкоэмиссионных камер сгорания ГТУ, повышение эффективности систем охлаждения «горячей части» ГТУ, совершенствование ПТУ и котлов-utiлизаторов, оптимизация технологических схем ПГУ.

180. Имеются предложения по переходу ПГУ на сложные схемы. В частности, переход на полузамкнутую схему позволяет на базе серийно выпускаемого ГТД АЛ-31 создавать ПГУ электрической мощностью 80-160 МВт (при использовании паровой турбины Т- 60/65) с КПД около 52-53% и ПГУ мощностью 160-350 МВт (с паровой турбиной К-110140) с КПД до 55-57%. На базе ГТД-110 и серийной паровой турбины К-300-240 предлагается создать ПГУ по полузамкнутой схеме электрической мощностью примерно 500 МВт (моноблок) и 1000 МВт (дубль-блок) и КПД до 57%. Достоинством таких ПГУ является слабая зависимость КПД от нагрузки установки. Это позволит существенно экономить топливо, поскольку работа ПГУ на частичных нагрузках является обычной практикой. Однако такие схемы представляются более сложными в реализации. Пока нет опыта создания таких установок и их эксплуатации.

181. Необходимо добиться снижения стоимости отечественных ГТУ и ПГУ до конкурентного уровня. Для этого требуется повысить эффективность их производства и нарастить объемы выпуска.

182. Разрабатываемые отечественные ПГУ могут использоваться для модернизации действующих электростанций с паротурбинными установками мощностью 300-500 МВт и при определенных условиях 800 МВт, а также для сооружения новых ТЭС установленной электрической мощностью 2-3 ГВт (4-6 блоков). В условиях разветвленной газовой сети такие ТЭС могут сооружаться вблизи центров нагрузок, что позволит сократить потери и затраты на перетоках электроэнергии и увеличить надежность и живучесть системы.

183. Опыта разработки ГТУ мощностью свыше 300 МВт в стране нет. Разработка таких турбин связана с большими техническими сложностями, требует больших затрат, длительных сроков и значительной государственной поддержки, при этом емкость внутреннего рынка для них относительно небольшая, выход на внешний рынок связан со сложностями из-за высокой конкуренции на нем, что затрудняет возврат затрат на их разработку.

184. В связи с тем, что большие ГТУ необходимы для модернизации действующих мощных электростанций и сооружения новых, замещения импортного оборудования и обеспечения

технологической независимости электроэнергетики страны, целесообразно поддержать предложения по созданию отечественной перспективной ГТУ предельной мощности (500-600 МВт) и эффективности (свыше 65-66%) на этапе разработки эскизного проекта и выбора принципиальных технических решений. По их результатам и прогнозируемой рыночной ситуации можно будет принять решение о переходе на более дорогостоящие стадии разработки. Это позволит нарабатывать в стране соответствующие компетенции, поскольку мощные ГТУ являются вершиной инженерной практики и во многом определяют научно-технологический уровень индустриально развитых стран.

185. Разрабатываются бескомпрессорные ПГУ с кислородным сжиганием природного газа, что позволяет выводить ССГ непосредственно из цикла энергоустановки в жидкой фазе. Это может существенно сократить затраты на улавливание CO<sub>2</sub> и его захоронение. Производство кислорода является дорогостоящим и энергоемким процессом, однако, он может быть исключен из схемы в случае перехода на использование внешнего кислорода, получаемого в качестве побочного продукта при электролизе воды – ключевом процессе водородной энергетики.

186. Наличие в стране большого количества импортных ГТУ и ПГУ ставит задачу обеспечения их надежной эксплуатации. Необходимо добиться, что бы весь объем сервисного обслуживания и ремонтов импортного оборудования производился отечественными компаниями. Для этого нужно освоить в стране соответствующие технологии и наладить производство (путем приобретения лицензий и реинжиниринга) необходимых запасных частей требуемого качества.

187. Целесообразной является концентрация производства лопаток ГТУ на крупном предприятии (создание российского «литейного дома») для снижения издержек, повышения качества продукции и ускорения перспективных разработок. Реализация данного предложения обеспечит выпуск конкурентоспособной продукции, в том числе на мировом рынке.

188. В стране ведутся разработки угольных энергоблоков на суперсверхкритические и ультрасверхкритические параметры пара, позволяющие увеличить КПД ТЭС соответственно до 43-45 и 50-53%. Но энергоблоки с такими параметрами являются менее маневренными и более дорогими. В условиях дешевизны угля и угрозы ограничения развития угольной энергетики при реализации политики декарбонизации эти дорогостоящие разработки не считаются приоритетными. Тем не менее, если будет принято решение о сохранении имеющихся в стране компетенций, их можно поддерживать, хотя бы на уровне эскизного проектирования оборудования, поиска оптимальных схемных решений, создания необходимых жаропрочных материалов и экспериментальной проверки их работоспособности. Решения о переходе на следующие стадии разработки, в том числе о создании опытной установки, могут быть приняты позже.

189. Такие же выводы могут быть сделаны и в отношении разработок мощных паротурбинных установок с котлами с циркулирующим кипящим слоем, а также ПГУ с внутрицикловой газификацией угля.

190. В стране ведутся исследования, направленные на создание угольных энергоблоков мощностью 25-150 МВт, использующих в качестве рабочего тела углекислый газ вместо водяного пара, однако, необходимо оценить эффективность таких установок и целесообразность их практической реализации.

191. Разработаны технологии полезного использования золошлаковых отходов электростанций в народном хозяйстве. Внедрение их позволит предотвратить накопление отходов, а в последующем перейти к их сокращению и рекультивации освобождаемых земель. Это защитит окружающую среду от негативных воздействий золошлакоотвалов.

192. При реализации политики жесткой декарбонизации продолжение использования угля на электростанциях вряд ли будет возможно без разработки отечественных технологий улавливания СО<sub>2</sub> из дымовых газов ТЭС, его транспорта и надежного захоронения. Для удешевления извлечения СО<sub>2</sub> из дымовых газов угольных ТЭС предлагаются технологии кислородного сжигания.

193. Для повышения надежности, а также энергетической и экономической эффективности электроснабжения территорий с низкой плотностью электрических нагрузок и электрических сетей целесообразно развивать технологии распределенной генерации (электрической мощностью до 25 МВт, работающих в распределительных сетях) и цифровые системы управления ими.

194. Распределенная генерация может базироваться на органических топливах (природном газе, сжиженных углеводородных газах, сжиженном природном газе, биогазе, водороде и др.), а также на ВИЭ.

195. Обширной сферой применения технологий распределенной генерации может стать реконструкция газовых котельных с преобразованием их в мини-ТЭЦ. Это позволяет дополнительно получить около 40-50 ГВт электрической мощности, причем, в самый напряженный осенне-зимний период. Обеспечение эффективной эксплуатации мини-ТЭЦ возможно с помощью мер тарифного регулирования.

196. Для развития распределенной генерации потребуется создание:

газопоршневых двигателей мощностью до 4-8 МВт и более и когенерационных установок на их основе с электрическим КПД до 40-48% и коэффициентом использования топлива в когенерационном режиме на уровне 85-95%;

ГТУ мощностью 2-25 МВт с КПД 35-40% и ресурсом до 150-200 тыс. часов;

микротурбин мощностью от 30 кВт до 1 МВт с КПД до 35-37% и рабочим ресурсом до 100-150 тыс. часов;

когенерационных установок на топливных элементах микроуровня (2-50 кВт) и среднего уровня (0,1-1 МВт) с КПД до 50-60%;

гибридных установок на основе высокотемпературных топливных элементов и микротурбин с КПД до 65%;

электрогенерирующих установок на базе ВИЭ.

### **Электросетевой комплекс**

197. Выдающимся достижением в электротехнике на сегодняшний день является техническое освоение ультравысокого напряжения (УВН) в линиях электропередачи (ЛЭП) постоянного тока ( $\pm 800$  кВ и выше) и переменного тока (1000 кВ и выше). ЛЭП УВН постоянного тока позволяют передавать большие объемы электроэнергии на дальние расстояния, а переменного тока - распределить полученную электроэнергию на большой площади. Посредством ЛЭП УВН напряжением  $\pm 800$  кВ можно эффективно передать около 6-9 ГВт электрической мощности на расстояние 2000-3000 км, а ЛЭП  $\pm 1100$  кВ - уже 12-15 ГВт на 5000-6000 км.

198. Это открывает возможности для создания континентальных и трансконтинентальных электрических связей, позволяющих организовать крупномасштабное освоение высококачественных ресурсов возобновляемых видов энергии (солнечной, ветровой, приливной) в отдаленных районах (пустыни, побережья северных морей и т.д.) с передачей произведенной электроэнергии в районы потребления с небольшими потерями (менее 10%) и по приемлемой стоимости.

199. Передача электроэнергии сверхвысоким и ультравысоким напряжением активно осваивается во многих странах мира. Прежде всего, это касается стран с большой территорией и значительным территориальным разнесением центров концентрации энергоресурсов и центров электропотребления (Китай, США, Канада, Латинская Америка, Африка).

200. В российском электросетевом комплексе в 2020 году:

для повышения надежности работы электросетевого комплекса внедряются отечественные системы предиктивной аналитики;

закончены ресурсные испытания кабеля с высокотемпературным сверхпроводником, после завершения испытаний с проведением полной имитации рабочего режима опытный образец такого кабеля будет введен в эксплуатацию;

АО «СО ЕЭС» запущен пилотный проект, предусматривающий создание интеллектуальных систем управления активными энергетическими комплексами, которые позволяют в автоматическом режиме балансировать режимы энергоячеек. На первую фазу пилотного проекта отводится три года, в течение которых в ЕЭС России должны быть созданы микрогриды

(локальные микроэнергоячейки) суммарной мощностью входящей в их состав генерации до 250 МВт;

утвержден Порядок проведения пилотного проекта «Улучшение надежности и качества электроснабжения потребителей электрической энергии за счет внедрения новых технологий и оптимизации деятельности территориальных сетевых организаций», который направлен на отработку альтернативных сценариев развития районных электрических сетей территориальных сетевых организаций с применением отечественных цифровых техники и технологий для существенного улучшения показателей надежности без увеличения тарифной нагрузки на потребителей. Предусматривается разработка механизма привлечения инвесторов в электросетевой комплекс, а также определение оптимальных технических решений, улучшающих показатели надежности и мониторинг качества электроснабжения, в целях тиражирования полученного опыта на территории Российской Федерации;

утвержден Порядок проведения пилотного проекта «Улучшение надежности и качества электроснабжения потребителей электрической энергии за счет внедрения новых технологий и оптимизации деятельности территориальных сетевых организаций», который направлен на отработку альтернативных сценариев развития районных электрических сетей территориальных сетевых организаций с применением отечественной цифровой техники и технологий для существенного улучшения показателей надежности без увеличения тарифной нагрузки на потребителей.

201. Основой задачей технологического развития российского электросетевого комплекса является обеспечение надежного электроснабжения потребителей с минимальными потерями. В прогнозный период можно ожидать появления дополнительных сложностей в ее решении, поскольку:

расширение применения ВИЭ со стохастической энергоотдачей, распределенной генерации у потребителей, электрогенерации с малой инерционностью, электрохимических накопителей энергии и электромобилей с двухсторонними электрическими связями резко усложнит управление электроэнергетическими системами;

высокотехнологичные производства требовательны к качеству электроэнергии и надежности электроснабжения, не допускают перерывов в поставках электроэнергии;

реализация политики декарбонизации вызовет новую волну электрификации экономики и общества, включая переход на электротранспорт и электроотопление, что существенно увеличит спрос на электроэнергию и мощность, изменятся режимы электропотребления, возрастут перетоки электрической мощности, потребуется увеличение плотности электрических сетей и мощности трансформаторного оборудования.

202. Для дальнейшего развития электросетевого комплекса потребуются:

интеллектуальные технологии управления электроэнергетическими системами, в том числе режимного и противоаварийного управления, управляемые электропередачи переменного и постоянного тока;

интеллектуальные технологии управления спросом на электрическую энергию и мощность и их учета;

новые проводниковые и электроизоляционные материалы с улучшенными электрическими и механическими характеристиками;

новое электротехническое, электромеханическое и электронное оборудование (в том числе полупроводниковые компенсаторы реактивной мощности, устройства ограничения токов короткого замыкания напряжением 35-500 кВ на основе полупроводниковых приборов, КРУЭ 110-220 кВ наружной установки с вакуумными выключателями, фильтрокомпенсирующие устройства);

элементы цифровой подстанции разных уровней автоматизации (цифровые устройства релейной защиты и автоматики, цифровые приборы учета и т.д.);

новые математические методы и компьютерные средства оперативно-диспетчерского и оперативно-технологического управления электроэнергетическими системами, включая нелинейные модели высокой и сверхвысокой размерности со сложными целевыми функциями;

цифровые системы удаленного мониторинга и диагностики состояния электротехнического оборудования в режиме реального времени, позволяющие переходить от планово-предупредительных ремонтов к ремонту «по состоянию»;

технологии обеспечения кибербезопасности установок и систем.

203. Можно ожидать появления электросетевого оборудования, использующего высокотемпературные сверхпроводниковые материалы (токоограничители, силовые трансформаторы, кабельные линии переменного тока и постоянного тока, преобразователи и др.). Технологический прорыв в силовой полупроводниковой электронике позволит перейти на новые коммутационные аппараты (полупроводниковые выключатели) на все классы напряжения до 1150 кВ.

204. Расширение применения постоянного тока у потребителей в локальных системах с генерацией на базе ВИЭ и топливных элементов позволит снизить количество преобразовательного и трансформаторного оборудования и уровень потерь.

205. Ожидается повышение доли композиционных материалов в составе оборудования и строительных конструкций в электросетевом комплексе.

206. Целесообразны модернизация существующих и создание новых испытательных центров для проведения испытаний высоковольтного оборудования 110-750 кВ.

207. Освоение высококачественных ресурсов ветра в отдаленных районах (побережье северных и дальневосточных морей) для производства больших объемов электроэнергии

потребует возобновления в России разработок электротехнического оборудования для линий электропередачи ультравысокого напряжения постоянного тока ( $\pm 800$  кВ и выше) и переменного тока (1000 кВ и выше) и соответствующих систем управления.

208. Необходимо продолжить разработки отечественных программных продуктов для оптимизации структуры электрических сетей, управления электрическими режимами и перетоками мощности. Их применение позволит повысить надежность работы сетей и сократить потери электроэнергии при передаче.

209. Массовый переход на электротранспорт потребует развития сети электrozарядных станций общего пользования, в том числе большой мощности, обеспечивающих «быструю» зарядку. Необходимо организовать разработку соответствующего оборудования (преобразовательных устройств, силовой электроники, интеллектуальных систем управления) и его производство в стране. Также потребуются технологии интеграции зарядных станций в электроэнергетические системы.

Кроме того, необходимо предусмотреть возможность использования электромобилей в качестве потребителей-регуляторов электрической энергии (потребление энергии в часы ночных провалов и выдача ее в сеть во время пиков).

### **Атомная энергетика**

210. Значительный технологический задел накоплен отечественной атомной энергетикой. Россия одна из первых в мире стран вводит в эксплуатацию энергоблоки поколения 3+, отвечающие «постфукусимским» требованиям безопасности, а также энергоблоки с реакторами на быстрых нейтронах, которые являются важным этапом в работе по созданию замкнутого ядерного топливного цикла.

211. В мае 2020 года введена в эксплуатацию единственная в мире плавучая атомная теплоэлектростанция «Академик Ломоносов», которая будет обеспечивать энергией ряд населенных пунктов, а также крупных промышленных предприятий Чукотки.

212. Также продолжается реализация долгосрочного проекта «Прорыв», направленного на создание реакторов на быстрых нейтронах и замыкание ядерного топливного цикла. Установленная мощность реакторов на быстрых нейтронах, обеспечивающих замыкание ядерного топливного цикла, составила 1,48 ГВт.

213. Приоритетными в технологическом развитии атомной энергетики остаются вопросы:

- повышения безопасности ядерных энергоустановок;
- увеличения эффективности использования ядерного топлива;
- снижения удельной стоимости энергоблоков АЭС;
- сокращения сроков сооружения АЭС;

продления срока службы действующих атомных электростанций;  
создания ядерных энергоустановок малой мощности;  
обеспечения безопасного обращения отработанного ядерного топлива;  
замыкания ядерного топливного цикла.

214. Для электроснабжения отдаленных территорий, не имеющих доступа к крупным электроэнергетическим системам, востребованными могут оказаться атомные электростанции небольшой мощности с энергоблоками 20-100 МВт, в том числе в плавучем исполнении. Такие установки обладают значительным экспортным потенциалом. Для его реализации необходимо построить на территории России несколько референтных энергоустановок, в частности, на основе реактора РИТМ-200 с электрической мощностью около 50 МВт.

215. Важным стратегическим направлением развития атомной энергетики остается создание технологий управляемого термоядерного синтеза.

216. Детальную программу научно-технологического развития атомной отрасли страны разрабатывает и реализует Госкорпорация «Росатом».

### **Гидроэнергетика и ВИЭ**

217. Большини перспективами для высокотехнологичного развития обладает сектор возобновляемой энергетики. Уже сейчас Россия является мировым лидером в развитии большой гидроэнергетики: объем генерации на крупных гидроэлектростанциях в нашей стране составляет около 17 % объема производства электроэнергии. Наряду с этим продолжается работа по разработке и освоению передовых технологий в области развития технологий солнечной и ветроэнергетики с перспективой их дальнейшего экспорта.

218. В Энергетической стратегии в сфере гидроэнергетики и иной энергетики на базе ВИЭ поставлены следующие задачи:

повышение эффективности функционирования гидроэлектростанций;  
повышение эффективности энергоснабжения удаленных и изолированных территорий на основе использования возобновляемых источников энергии.

#### ***Гидроэнергетика***

219. В ближней и среднесрочной перспективе в гидроэнергетике страны будут в основном решаться задачи модернизации оборудования и осваиваться высокоэффективный гидропотенциал небольших горных рек. В более отдаленной перспективе, особенно в условиях жесткой климатической политики, может оказаться востребованным возврат к сооружению крупных ГЭС (преимущественно в восточной части страны). Для этого в стране имеются научная и инженерная школа в области гидроэнергетики и мощный производственный потенциал, целесообразно

поддержать их и направить на продолжение работ по совершенствованию оборудования для гидроэлектростанций (ГЭС), как мощных, так и небольших.

220. Технологическое развитие отечественной гидроэнергетики направлено на повышение безопасности гидротехнических сооружений, надежности оборудования и эффективности использования гидроресурсов, а также минимизацию негативного воздействия на окружающую среду. Разрабатываются:

гидротурбины повышенной мощности и эффективности для реконструкции существующих ГЭС и нового строительства;

гидротурбины ковшового типа для малых ГЭС;

высокоэффективные обратимые машины для ГЭС-ГАЭС;

экологически безопасные для водных биоресурсов гидротурбины;

энергоблоки ГЭС в контейнерном исполнении;

цифровые технологии автоматизации ГЭС, предиктивной диагностики состояния оборудования и сооружений;

композитные материалы для гидроэнергетического строительства;

цифровые технологии прогнозирования водности рек с учетом климатических изменений и оптимизации водно-энергетических режимов с целью повышения эффективности использования водных ресурсов.

#### *Солнечная энергетика и ветроэнергетика*

221. Солнечная энергетика сегодня развивается практически полностью на основе фотоэлектрических преобразователей (ФЭП), благодаря достижениям в росте их КПД и снижении стоимости.

222. Ежегодные объемы выпуска ФЭП в мире превысили 100 ГВт, при этом основная их масса основана на кремниевых технологиях. Они останутся базой для развития солнечной энергетики до 2035 года. КПД серийно производимых ФЭП такого типа достиг 20-23%, лабораторных образцов – 26%. Возможности для его увеличения ограничены из-за близости к теоретическому пределу – около 29,4% для кремниевых ФЭП. Техническое совершенствование направлено на снижение их стоимости и увеличение рабочего ресурса.

223. Тандемными кремний-перовскитовыми ФЭП в лабораторных условиях достигнут КПД 29% и обеспечена длительная стабильная работа. Ожидается достижение КПД 30%, что близко к теоретическому максимуму (35%).

224. Дальнейшее развитие ФЭП связывается с применением гетеропереходных и других технологий, позволяющих эффективно использовать весь спектр солнечного излучения. Достигнутые в лабораториях для перспективных типов ФЭП значения КПД на уровне 35-47% и

теоретические возможности увеличения его до 60-70% свидетельствуют об остающемся высоком потенциале повышения эффективности и конкурентоспособности солнечной энергетики.

225. Развитие технологий в ветроэнергетике идет по пути увеличения единичной мощности ветроэнергетических установок (ВЭУ). За последние два десятилетия она выросла с 300-500 кВт до 5-7 МВт для наземных и до 8-10 МВт для морских ВЭУ. При этом диаметр ветроколеса увеличился с 10-15 до 100-200 м и высота башни - с 20-30 до 120-220 м.

226. Увеличение единичной мощности ВЭУ позволяет повысить КИУМ и снизить стоимость генерируемой электроэнергии, однако, при этом растут масса элементов ВЭУ и нагрузка на фундамент. Так, вес стеклопластиковой лопасти ветротурбины Vestas 164 мощностью 8 МВт достигает 35 т, а всей ветротурбины – 1300 т. Еще около 4 тыс. т весит башня с фундаментом. Монтаж таких установок оказывается сложным и дорогим, трудно обеспечить их механическую прочность при высоких ветровых нагрузках.

227. Для снижения веса ВЭУ интенсивно развиваются конструкции безредукторных установок – с прямым подключением турбины к синхронному генератору переменного тока с постоянными магнитами. Это исключает из схемы тяжелый редуктор, упрощает конструкцию ВЭУ, но требует применения надежных преобразователей тока (переменного в постоянный, и обратно). Использование мощных постоянных магнитов повышает эффективность ВЭУ, но при этом возрастает ее инерционность, и потому требуются более высокие скорости ветра для старта и эффективной работы.

Для уменьшения массы электрогенератора предлагается использовать сверхпроводящие обмотки статора и ротора, однако, пока это не находит практического применения из-за сложностей обеспечения высокой надежности работы криогенной системы и ее большой удельной стоимости.

228. Серьезные усилия направлены на снижение шума и вибрации ВЭУ, обеспечение надежной работы при низких температурах, ураганных скоростях ветра и высокой влажности морской атмосферы, решение проблем обледенения лопастей.

229. В морской ветроэнергетике продолжается совершенствование и развертывание плавучих установок, что расширяет доступные области морских акваторий, вне связи с глубинами и топографией дна океана. Все это создает технологическую основу для улучшения технико-экономических показателей и повышения конкурентоспособности ветровых электростанций.

230. Коэффициент использования установленной мощности ВЭУ составляет 25-45%, в некоторых случаях до 60%, и определяется скоростными характеристиками ветра и техническими характеристиками установки (верхние значения относятся к морским установкам большой мощности, эксплуатируемым в условиях постоянных высокоскоростных ветров).

231. Совершенствуются методы прогнозирования ветровых характеристик в районах размещения ВЭУ и соответствующие программные продукты.

232. В Российской Федерации в секторе солнечной энергетики создана полная цепочка: от науки и производства солнечных модулей до строительства и эксплуатации солнечных электростанций. Отечественная технология производства гетероструктурных солнечных модулей с КПД более 23 % входит в ТОП мировых лидеров по эффективности. Высокое качество отечественной продукции подтверждает спрос на российские фотоэлектрические преобразователи и модули нового поколения со стороны целого ряда европейских стран, Индии, Саудовской Аравии, Японии и США.

233. LCOE для СЭС по России не превышает 9 руб/кВт·ч, конечная цена рынка в Краснодарском крае составила 6,96 руб/кВт·ч. Капитальные затраты на СЭС находятся на высоком уровне: для сравнения CAPEX одной СЭС мощностью 38 МВт составляет около 3 млрд руб. (данные «Хевел»). В целом, при текущем уровне развития в России технология солнечной генерации является пока экономически нецелесообразной.

234. Нарабатываются компетенции в области ветроэнергетики: на территории страны работает ряд производственных площадок, выпускающих продукцию и оборудование для ветропарков. В этом году впервые в истории отечественного энергомашиностроения начат экспорт произведенных в России лопастей – ключевых компонентов для ветроустановок.

235. LCOE для ВЭС по России не превышает 6 руб/кВт·ч, конечная цена рынка в Волгограде составила 5,6 руб/кВт\*ч. Капитальные затраты на ВЭС также находятся на высоком уровне, однако данная технология является более экономически выгодной, чем СЭС.

236. Для дальнейшего развития возобновляемой энергетики в стране необходимо:  
наладить собственное производство материалов для фотоэлектрических преобразователей и лопастей ВЭУ, преобразовательного и другого электротехнического оборудования;  
включиться в разработку технологий рециклинга компонентов оборудования солнечных и ветровых электростанций, а также электрохимических аккумуляторов, что сократит потребность в дорогих и редких материалах и уменьшит нагрузку на окружающую среду;

расширить диапазон мощности производимых в стране ветроэнергетических установок, в том числе на основе трансфера передовых зарубежных технологий и локализации производства оборудования на территории страны.

237. В стране накоплен большой опыт разработки и эксплуатации геотермальных электростанций. В отдельных регионах, богатых геотермальными ресурсами и удаленных от крупных электроэнергетических систем (прежде всего, на Дальнем Востоке), они могут оказаться конкурентоспособными. В связи с этим представляется целесообразным продолжение разработки

технологий генерации электроэнергии на основе геотермальной энергии, в том числе энергии горячих сухих пород, включая бинарные циклы и глубокое бурение.

### **Аккумуляторы и другие накопители энергии**

238. Перспективным направлением, способным оказать существенное влияние на дальнейшее развитие электроэнергетики в целом и возобновляемой энергетики, в частности, является развитие систем накопления (хранения) энергии.

239. Объем российского рынка систем хранения электроэнергии с 2025 г. может составит \$8 млрд в год, что даст экономике страны эффект (за вычетом инвестиций) в \$10 млрд в год.

240. Предполагается развитие накопителей за счет новых ГАЭС, накопителей на солнечных и ветровых электростанциях, системных накопителей, накопителей у потребителей и на электромобилях (до 20 ГВт к 2035 году).

241. Наиболее перспективными для России являются следующие направления развития рынка:

использование систем хранения электроэнергии в составе распределенной энергетики;

использование систем хранения электроэнергии в составе крупной централизованной энергетики;

аккумулирование электроэнергии в водородном цикле.

242. В настоящее время в России реализуется проект по созданию экспериментально подтвержденной технологии хранения электроэнергии, позволяющей строить твердотельные аккумулирующие электростанции, а также опытного накопителя, состоящего из компонентов промышленного накопителя.

243. Прогресс в разработке электрохимических аккумуляторов будет играть ключевую роль в скорости и масштабах перехода к электротранспорту. В связи с этим нужны отечественные конкурентоспособные аккумуляторы: с высокой удельной энергоемкостью (до 350 Вт·ч/кг и более), малой деградацией свойств при многократных циклах заряда/разряда, обеспечивающей длительный срок службы (до 10-15 лет и более), с высокой пожаробезопасностью и низкой стоимостью (до 100 долл./кВт·ч к 2024 г. и 60 долл./кВт·ч к 2035 г.). Они должны обеспечивать высокую скорость заряда и надежно работать при высоких пиковых нагрузках.

244. Перспективными являются исследования и разработки:

литий-ионных аккумуляторов, пост-литиевых систем (на основе ионов калия, натрия, алюминия), редокс-проточных батарей;

конкурентоспособных накопителей с большими токами зарядки и разрядки на основе имеющегося задела в области преобразовательной техники и суперконденсаторов (опционально);

накопителей с большим ресурсом циклирования (например, на основе Zn-air или адсорбционных батарей);

накопителей с высокой энергоемкостью и низкой капитальной стоимостью (например, на основе лифтов твердых грузов, пневматических или водородных систем);

электротехнического и электронного оборудования и систем управления, обеспечивающих надежную и эффективную эксплуатацию аккумуляторов, в том числе в удаленном режиме;

эффективных системы терmostатирования батарей для эксплуатации в климатических условиях России;

технологии для роботизации производства аккумуляторов в целях повышения их качества и снижения стоимости.

245. Целесообразно ускорить темпы перехода к промышленному производству катодных и анодных материалов, и электрохимических аккумуляторов с конкурентными технико-экономическими характеристиками, в том числе на основе лицензионных соглашений с локализацией производства на территории России.

### **Теплоснабжение**

246. Одной из задач Энергетической стратегии является повышение надежности и эффективности теплосетевого комплекса, что невозможно без его дальнейшего технологического развития, которое, в свою очередь, предполагает разработку и применение:

технологий интеллектуального мониторинга, диагностики и прогнозирования технического состояния тепловых сетей;

интеллектуальных технологий управления параметрами тепловых сетей, включая управление спросом на тепловую энергию и учет ее потребления;

новых функциональных покрытий трубопроводов, обеспечивающих снижение шероховатости и адгезии к солям жесткости и улучшение антикоррозионных свойств для снижения гидравлического сопротивления тепловых сетей и увеличения срока их службы;

новых конструкционных (в том числе композиционных) и теплоизоляционных материалов;

новых технологий и материалов для аккумулирования тепловой энергии, в том числе с использованием эффекта фазового перехода;

эффективного теплообменного, насосного и электротехнического оборудования.

247. Применение передовых технических решений позволит увеличить срок службы теплотрасс до 30-40 лет и более, снизить тепловые потери при транспортировке до 2-5%, повысить надежность системы и снизить ее аварийность.

248. Широкое распространение аккумуляторов тепла позволит снизить потребности в тепловой мощности, повысить живучесть теплоснабжающих систем, в том числе при

экстремальных погодных условиях и в аварийных ситуациях, в также повысить эффективность использование возобновляемых источников энергии.

249. При реконструкции и развитии систем централизованного теплоснабжения должны использоваться отечественные материалы, оборудование, включая теплообменное, насосное, электротехническое, и системы управления.

### **Цифровая трансформация ТЭК**

250. Максимизировать положительный эффект от применения новейших решений в ТЭК призвана цифровая трансформация его отраслей.

251. Одной из первых в процесс цифровой трансформации включилась электроэнергетика, демонстрирующая множество примеров внедрения цифровых технологий во всех ее сегментах: электросетевом комплексе, генерации, сбытовой деятельности и в части взаимодействия с потребителями.

Вводятся системы телеуправления коммутационным оборудованием, строятся цифровые подстанции, в том числе с использованием полностью отечественного программного обеспечения, в ряде регионов внедряются технологии «умных» сетей. В Московской области реализован проект цифрового диспетчерского управления электрическими сетями, который в режиме реального времени определяет возникающие технические нарушения, что на 35 % увеличило управляемость сетью.

252. В нефтегазовом комплексе в рамках цифровой трансформации уже внедряются новые технологии для освоения запасов труднодоступных и малоосвоенных районов: в Арктике и на континентальном шельфе используются роботы, беспилотные летательные аппараты, системы дистанционного управления производственным циклом месторождения, готовится к использованию беспилотный автотранспорт под контролем искусственного интеллекта, который может взять на себя большинство логистических операций.

Также на основе цифровых методов происходит изучение недр и развитие систем аналитики, что помогает в режиме реального времени проводить моделирование геологической информации и корректировку производственных процессов.

253. В сферу online также переходит взаимодействие нефтегазовых компаний с поставщиками и потребителями. С помощью online-факторинга сегодня осуществляются быстрые финансовые взаиморасчеты с контрагентами, а электронные сервисы и мобильные приложения позволяют потребителям, не выходя из автомобиля, дистанционно оплачивать топливо на автозаправочных станциях.

254. На российских нефте- и газоперерабатывающих предприятиях внедряются технологии цифрового управления производством, с помощью которых в автоматическом режиме на основе

данных множества датчиков обрабатывается информация обо всех параметрах работы, отслеживаются изменения, благодаря которым предупреждается возникновение нештатных ситуаций.

255. В угольной промышленности в рамках обеспечения производственной безопасности и для оптимизации горных работ на российских предприятиях растет востребованность: беспилотных летательных аппаратов, оснащенных датчиками для поиска утечки метана, обнаружения очагов возгорания, разведки полезных ископаемых (такие технологии уже успешно используются на разрезе «Распадский»);

технологий мониторинга и прогнозирования состояния пластов, средств предупреждения о возможных аварийных ситуациях;

интеллектуальных средств индивидуальной защиты, обеспечивающие контроль местонахождения и психофизического состояния, раннего предупреждения об опасности.

256. В 2019 году в рамках программы деятельности НОЦ «Кузбасс» запущен проект «Цифровое горное предприятие», направленный на создание первой в России цифровой платформы для горнодобывающей отрасли. Продолжается работа над созданием систем с удаленным управлением. В частности, в 2019 году на разрезе «Черниговский» были успешно испытаны беспилотные карьерные самосвалы «БелАЗ», оснащенные российской операционной системой группы «ВИСТ».

### **Водородная энергетика**

257. В Энергетической стратегии поставлена задача развития производства и потребления водорода, вхождения Российской Федерации в число мировых лидеров по его производству и экспорту.

258. В рамках энергетического перехода для развития водородной энергетики необходимы технологии:

экономически и экологически оправданное массовое производство водорода, включая его очистку;

безопасного и эффективного хранения водорода (в газообразном и жидкоком виде), включая сокращение энергетических затрат на охлаждение водорода;

транспорта и распределения водорода (газообразного и сжиженного), включая водородные заправочные станции;

удобного и эффективного использования.

259. В настоящее время водород производится в основном из природного газа (76 %) и угля (23 %). Еще около 1 % водорода получают электролизом, в основном в качестве побочного

продукта электролиза щелочей при производстве хлора и каустической соды и лишь 0,1% электролизом воды.

260. Промышленно освоенными технологиями получения водорода являются паровой реформинг природного газа, газификация угля и электролиз воды с применением щелочных электролизеров.

261. Производство водорода из природного газа, угля и биомассы требует совершенствования технологий паровой конверсии, газификации и пиролиза. Процессы паровой конверсии и газификации сопровождаются образованием больших объемов CO<sub>2</sub>, которые требуют захоронения. В процессе пиролиза выбросы CO<sub>2</sub> образуется намного меньше, но при этом более 40% исходной энергии метана переходит в углерод и оказывается потерянной. Это резко удорожает получаемый водород. Нужны технологии экологически чистого складирования получаемого углерода или его полезного использования.

262. Водород, производимый на основе органических топлив, изначально является «грязным», содержащим в значительных количествах (2-5% и более по объему) разнообразные химические соединения. Для многих сфер применения такой водород непригоден, необходим достаточно дорогостоящий и энергоемкий процесс его очистки, для чего требуется создание соответствующих эффективных технологий, прежде всего, мембранных.

263. «Чистый» водород можно производить путем электролиза воды. Пока такой водород оказывается существенно дороже. Для его удешевления требуется снижение стоимости электролизеров и используемой электроэнергии.

264. Первоочередным является совершенствование получивших коммерческое применение щелочных электролизеров. Имеются возможности увеличения их КПД с 60-70% до 75-80% и снижения стоимости с 1000-1400 долл./кВт до 400-800 долл./кВт к 2030-2035 годам.

265. Перспективны разработки электролизеров с ионообменными протонпроводящими мембранами. Такие электролизеры компактны, поэтому могут размещаться непосредственно на водородных заправочных станциях, в том числе в густонаселенных районах. Они работают под высоким давлением (до 30 бар, а в некоторых конструкциях и выше), что сокращает затраты на последующее компримирование полученного водорода, хорошо выдерживают перегрузки, что важно при использовании электроэнергии, получаемой от солнечных и ветровых электростанций со стохастической энергоотдачей. Однако они пока дороже щелочных электролизеров, поскольку нуждаются в дорогих электродных катализаторах и мембранных материалах, и имеют меньший рабочий ресурс. В то же время, такие электролизеры имеют достаточно большой потенциал для технического совершенствования и снижения стоимости.

266. Менее определены перспективы разработки высокотемпературных твердооксидных электролизеров, которые пока не получили коммерческого применения. Они дорогие и имеют

небольшой рабочий ресурс из-за быстрой деградации материалов, работающих в области высоких температур ( $650\text{-}1000^{\circ}\text{C}$ ). Их достоинством является высокий КПД (до 80-90%) и возможность работы в реверсном режиме - при необходимости превращать водород обратно в электрическую энергию.

267. Перспективы снижения стоимости электролизеров можно связывать с разработкой менее дорогостоящих материалов для электродов и мембран, увеличением мощности электролизных установок и улучшением их конструкций, а также наращиванием масштабов производства. Для обеспечения конкурентоспособности электролизного водорода с другими методами его получения необходимо добиться сокращения удельных затрат в электролизеры до 400 долл./кВт. Это позволит снизить стоимость производства водорода с использованием электроэнергии ВИЭ до 1-1,5 долл./кг  $\text{H}_2$ , что сравнимо со стоимостью его получения на основе природного газа в настоящее время.

268. Ключевой проблемой водородной энергетики остается разработка эффективных технологий хранения водорода. Исследуется много альтернативных методов хранения: в виде сжатого газа (при давлении до 300-700 атм), в том числе при криогенной температуре (минус 200-250  $^{\circ}\text{C}$ ), в жидком состоянии (ниже минус 252,9  $^{\circ}\text{C}$ ), в абсорбированном состоянии в интерметаллических соединениях, в органических жидкостях, твердых пористых материалах.

269. Высокая текучесть водорода и проблема «водородного охрупчивания» материалов требуют создания эффективных технологий мониторинга и диагностики водородного оборудования и обеспечения безопасности его эксплуатации.

270. При крупномасштабном развитии возобновляемой энергетики востребованной может оказаться технология сезонного аккумулирования электроэнергии посредством «водородного цикла», включающего электролиз воды, хранение водорода и его использование в топливных элементах для производства электроэнергии.

271. Замещение водородом природного газа в традиционных энергоустановках не приведет к значимому росту их КПД, но увеличит себестоимость производства электроэнергии из-за дороговизны водорода.

272. Эффективность современных единичных ячеек топливных элементов достигла 75%, показана практическая достижимость 80%. Это позволяет создавать энергоустановки с топливными элементами с электрическим КПД до 60-65 %, причем, даже для установок малой мощности (всего в несколько киловатт). В гибридном цикле (при комбинировании высокотемпературных топливных элементов с ГТУ или ПГУ) в установках мегаваттного класса можно рассчитывать на электрический КПД 70-75 %.

273. Основным барьером для развития водородной энергетики в РФ является неразвитость инфраструктуры и, как следствие, отсутствие конечных потребителей. Имеет место сильное

отставание России в разработке топливных элементов. Учитывая растущий в мире спрос на использование водорода необходимо обеспечить государственную поддержку НИР и НИОКР в сфере технологий получения, аккумулирования, транспортировки и применения водорода. Целесообразно также использовать зарубежный опыт по созданию демонстрационных зон для тестирования разработанных топливных элементов.

274. В Дорожной карте развития водородных технологий к 2025 году предусмотрено:  
производство твердооксидных топливных элементов и электролизеров в промышленном масштабе;

прогресс в области материалов трубопроводов, пригодных для использования водорода, повышение рабочих давлений емкостей для хранения в компримированном состоянии, снижение затрат на резервуары для хранения;

разработка технологий компримирования с высокой эффективностью;

разработка тепловых устройств, работающих на водороде, например, котлов;

разработка технологий высокоэффективного электролиза (с целевой эффективностью 250 долл. США /кВт).

К 2035 году:

улучшение соотношения стоимость / эффективность способов производства водорода с низким или нулевым выбросом углерода;

развитие технологий риформинга с химическим циклом, крекинга метана (пиролиз), газификации биомассы;

системное проектирование инфраструктуры распределения водорода для транспортных и промышленных приложений;

разработка технологий применения водорода в сталелитейном и химическом производстве (TRL 5);

разработка технологий использования водорода и аммиака в судоходстве (TRL 7-8).

## **Заключение**

275. Приоритетность развития тех или иных технологических направлений в энергетике в существенной степени зависит от сценария энергоперехода. Тем не менее, для российского ТЭК применительно ко всем сценариям целесообразно исходить из необходимости модернизации и применения технических и организационных решений, повышающих эффективность производства и конкурентоспособность российской продукции, услуг и технологий на мировых рынках.

276. В любых сценариях максимизировать положительный эффект от применения новейших решений в ТЭК позволит цифровая трансформация его отраслей.

277. В сценарии «Энергетическая эволюция» актуальным будет развитие технологий традиционной энергетики, прежде всего, в направлении снижения углеродного следа, повышения энергетической и экономической эффективности. В частности, потребуется развитие технологий глубокой переработки углеводородного сырья с производством востребованных крупно-, средне- и малотоннажных полимерных продуктов с конкурентной стоимостью.

278. В сценарии «Эволюционного энергоперехода» технологии использования ВИЭ, прежде всего, солнечной и ветровой, и систем накопления энергии станут важнейшим направлением, а в рамках сценария «Форсированного энергоперехода» их роль будет определяющей. Формирующийся огромный глобальный рынок оборудования для возобновляемой энергетики открывает для отечественных производителей широкие возможности для экспорта высокотехнологичного оборудования. Это касается фотопреобразователей и ветродвигателей, электрических преобразователей и трансформаторов, кабельной продукции.

279. Российская Федерация обладает значительным потенциалом в области водородной энергетики в силу крупной ресурсной базы (запасов природного газа, нефти, угля и незагруженных мощностей по производству электроэнергии), научным заделом в сфере производства, транспортировки и хранения водорода. Стоимость водорода российского производства является конкурентоспособной, а потенциальные объемы российского экспорта водорода на мировой рынок в зависимости от темпов и характера мировой декарбонизации могут составить от 5 до 20 % глобального спроса. Для реализации указанного потенциала потребуется преодолеть отставание в технологиях топливных элементов и осуществить научно-технологический прорыв в средствах хранения и транспортировки водорода.

280. В настоящее время целый ряд низкоуглеродных технологий в России находится только на стадии пилотных проектов. Для адаптации к энергопереходу необходимо ускоренное развитие следующих технологических направлений:

электрохимия: модульные ячейки для преобразования химической энергии в электрическую энергию (топливные элементы);

улавливание углекислого газа: процесс отделения CO<sub>2</sub> от выбросов промышленного и энергетического секторов;

отопление и охлаждение: эффективные и гибкие конструкции для электрификации;

катализ: более эффективные промышленные процессы преобразования CO<sub>2</sub> из биомассы в конкурентные продукты;

снижение веса: использование более легких материалов и их интеграция в ветроэнергетику;

цифровизация: интеграция данных и коммуникаций для повышения гибкости и эффективности энергетических систем.

281. Список приоритетных для научно-технологического развития отраслей ТЭК технологий представлен в Приложении № 1.

## **Перечень приоритетных технологий для научно-технологического развития отраслей топливно-энергетического комплекса России**

Под «приоритетными технологиями» понимаются технологии, применение которых способно обеспечить крупномасштабные экономические эффекты в энергетике страны и необходимо для предотвращения угроз энергетической безопасности и обеспечения технологической независимости отраслей ТЭК России.

Отсюда следует, что приоритетные технологии:

должны быть конкурентоспособными с лучшими зарубежными технологиями на внутри российском рынке и обладать экспортным потенциалом;

должны быть разработаны в России или полностью обеспечены лицензионными соглашениями безо всяких ограничений в случае заимствования зарубежных разработок;

все их ключевые компоненты (технологическое оборудование, материалы, системы управления) должны производиться на территории России.

Разработка и внедрение приоритетных технологий позволит наиболее эффективным образом обеспечить достижение целей и задач технологического развития ТЭК страны на перспективу до 2025 и 2035 годов. Масштабы их использования будут существенным образом определяться реализуемым сценарием внешних условий.

Перечень приоритетных технологий для отраслей ТЭК страны был сформирован в процессе разработки «Прогноза научно-технологического развития отраслей топливно-энергетического комплекса России на период до 2035 года», утвержденного Министром энергетики Российской Федерации 14 октября 2016 года. В 2019-2020 года состав приоритетных технологий был уточнен на основании анкетирования ведущих отечественных энергетических компаний.

Актуализированный перечень приоритетных технологий подготовлен на основе анализа вызовов и угроз для развития энергетики страны, предложенных сценариев внешних условий и имеющихся в стране научно-технологических заделов.

Таблица П.1 - Актуализированный перечень приоритетных технологий.

№№	Наименование приоритетной технологии	Примечание
<b>1.</b>	<b>Нефтяная отрасль</b>	
1.1	Интеллектуальные технологии комплексной разведки месторождений углеводородов и обработки геофизической и геологической информации, создание цифровых двойников залежей.	Для нефтяной и газовой отрасли
1.2	Технологии добычи трудно извлекаемых и нетрадиционных запасов углеводородов, в том числе на шельфе арктических и дальневосточных морей.	
1.3	Технологии бурения и строительства скважин сложного профиля, интеллектуальные технологии управления бурением, сбора скважинной геофизической информации и ее обработки.	
1.4	Интеллектуальные технологии управления процессами добычи и транспорта углеводородов в реальном времени, цифровые образы объектов нефте- и газодобычи.	Для нефтяной и газовой отрасли
1.5	Технологии увеличения нефтеотдачи пластов, в том числе тепловые, химические и др., интеллектуальные технологии управления процессами интенсификации нефтеотдачи пластов.	
1.6	Технологии гидроразрыва пласта (ГРП), производство специализированного оборудования и материалов для ГРП.	
1.7	Технологии углубления нефтепереработки с производством высококачественных и экологичных моторных топлив и масел.	
1.8	Технологии глубокой переработки углеводородного сырья с производством востребованных крупно-, средне- и малотоннажных полимерных продуктов с конкурентной стоимостью.	Для нефтяной и газовой отрасли
1.9	Технологии получения катализаторов для нефте- и газоперерабатывающих производств, нефте- и газохимии.	Для нефтяной и газовой отрасли
1.10	Технологии переработки тяжелого нефтяного сырья и гудронов с производством моторных топлив и других продуктов.	
<b>2.</b>	<b>Газовая отрасль</b>	
2.1	Эффективные газоперекачивающие агрегаты.	
2.2	Технологии производства сжиженного природного газа (СПГ), в том числе малотоннажного.	
2.3	Технологии морской и наземной транспортировки СПГ.	
2.4	Новые высокопрочные материалы для повышения рабочего давления в трубопроводах большого диаметра с целью увеличения пропускной способности труб.	
2.5	Новые типы внутренних гладкостных покрытий для снижения гидравлического сопротивления труб и сокращению энергетических затрат на передачу газа.	
2.6	Новые типы наружных антикоррозийных покрытий для снижения коррозионной опасности трубопроводов, повышения срок их службы и сокращения затрат на ремонт.	
2.7	Интеллектуальные технологии мониторинга и диагностики трубопроводов в системах транспорта нефти и газа.	

2.8	Цифровые интерфейсы рыночного взаимодействия поставщиков и потребителей энергии.	Для всех отраслей ТЭК
<b>3.</b>	<b>Угольная отрасль</b>	
3.1	Роботизированные технологии добычи угля без постоянного присутствия людей в рабочем пространстве.	
3.2	Интеллектуальные технологии обеспечения безопасного ведения горных работ.	
3.3	Технологии дегазации угольных пластов и утилизации шахтного метана.	
3.4	Технологии обогащения и глубокой переработки углей и других твердых топлив в продукты топливного и нетопливного назначения с высокой добавленной стоимостью.	
3.5	Интеллектуальные технологии управления процессами добычи угля в реальном времени, цифровые образы объектов угледобычи.	
<b>4.</b>	<b>Электроэнергетика (кроме атомной энергетики)</b>	
4.1	Конкурентоспособные газотурбинные установки большой, средней и малой мощности и парогазовые установки на их основе, в том числе с минимальными выбросами углекислого газа.	
4.2	Технологии экологически чистого использования твердого топлива с высокой эффективностью, в том числе с минимальными выбросами углекислого газа.	
4.3	Технологии электрогенерации на основе солнечной энергии.	
4.4	Технологии электрогенерации на основе энергии ветра.	
4.5	Технологии для повышения эффективности гидроэнергетики.	
4.6	Технологии для освоения геотермальных ресурсов, в том числе глубоко залегающих горячих горных пород.	
4.7	Технологии распределенной генерации на основе возобновляемых источников энергии, органических топлив, водорода и интеллектуальные системы управления ими.	
4.8	Технологии интеллектуальных электроэнергетических и теплоснабжающих систем, включая управление спросом на электрическую и тепловую энергию и мощность, цифровые двойники объектов электроэнергетики.	
4.9	Технологии аккумулирования электроэнергии, включая электрохимические аккумуляторы большой емкости и мощности и системы управления ими.	
4.10	Технологии скоростной зарядки электромобилей, использования электромобилей в качестве пиковых источников электрической мощности и системы интеллектуального управления ими.	
4.11	Технологии транспорта, использования и надежного захоронения углекислого газа.	Для всех отраслей ТЭК
4.12	Конкурентоспособное электротехническое оборудование высокого и сверхвысокого напряжения и интеллектуальные системы управления им.	
4.13	Средства силовой электроники для энергетических технологий и систем.	Для всех отраслей ТЭК
<b>5.</b>	<b>Водородная энергетика</b>	

5.1	Технологии производства водорода из природного газа и других органических топлив, включая каталитический риформинг, парциальное окисление, пиролиз.	
5.2	Технологии производства водорода на основе электрической энергии (электролиз).	
5.3	Технологии очистки водорода и выделения его из газовых смесей.	
5.4	Технологии безопасного и эффективного хранения водорода в газообразном и жидком виде.	
5.5	Технологии транспорта и распределения водорода (газообразного и сжиженного), включая водородные заправочные станции.	
5.6	Топливные элементы: низкотемпературные на основе протон-обменных мембран, высокотемпературные на основе твердо-оксидных керамик и др.	
5.7	Технологии мониторинга и диагностики водородного оборудования и обеспечения безопасности его эксплуатации.	
<b>6.</b>	<b>Управление научно-технологическим развитием энергетики</b>	
6.1	Межотраслевая цифровая платформа для управления технологическим развитием отраслей ТЭК (при Минэнерго России).	
6.2	Цифровая платформа для разработки отчетных и прогнозных ТЭБ по стране и регионам, в том числе в целях контроля энергоэффективности и выбросов парниковых газов.	
6.3	Цифровая платформа для прогнозирования спроса на топливо и энергию на долгосрочную перспективу по стране и регионам с учетом изменений в экономике страны.	
6.4	Модельно-информационные средства для обоснования приоритетных направлений научно-технологического развития отраслей ТЭК страны для различных внешних условий.	