

# ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС: ВЫЗОВЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ<sup>1</sup>

Член-корреспондент РАН В.М. БАТЕНИН

**В** большой степени история человечества определялась историей освоения первичных энергоресурсов и технологий производства тепловой и электрической энергии.

В конце XX века безудержный рост энергопотребления, в первую очередь в развитых странах, создал проблему глобальной энергетической безопасности, связанную как с экологической безопасностью планеты, так и с возникновением политической напряжённости из-за крайне неравномерного распределения мировых первичных энергоресурсов. Россия, обладающая 10% мировых энергоресурсов и имеющая третий по мощности топливно-энергетический комплекс, естественно вовлечена в решение всех этих проблем.

Ясно, что глобальная энергетическая безопасность может быть обеспечена только при создании единого энергетического пространства, т.к. дезинтеграция энергетических связей – один из главных факторов спада производства и тормоз экономического развития во всех странах как избыточных, так и дефицитных по энергоресурсам. Повышение энергоэффективности всех без исключения отраслей экономики и снижение энергоёмкости ВВП, явля-

ясь одним из условий создания единого энергетического пространства, способствует решению проблемы глобальной экологической безопасности.

Достижение баланса интересов и глобальной энергетической безопасности процесс длительный, требующий решения сложных политических проблем межгосударственных отношений, в развитии которых наблюдаются порой резкие обострения. Недавняя попытка создания Европейской энергетической хартии оказалась неудачной. Хартия в максимальной степени удовлетворяла страны-импортёры энергоресурсов и не защищала интересы стран-экспортёров. Естественно, Россия не ратифицировала такой документ.

Более удачным примером международного соглашения является киотский протокол, накладывающий на страны обязательства по ограничению вредных выбросов. Несмотря на то что Протокол не подписан некоторыми странами, большинство придерживаются сформулированных в нём ограничений и даже сократили вредные выбросы на 20% вместо предусмотренных Протоколом 5%. В начале декабря 2015 г. в Париже состоялась встреча по подготовке очередного Протокола. В целом же ясно, что быть полноправным участником решения проблем создания Глобальной энергетической безопасности возможно только имея чёткую энергетическую стратегию, пополняемые разведанные запасы первичных энергоресурсов, современные

<sup>1</sup> В статье использованы материалы «Энергетической стратегии РФ на период до 2030 г.», Труды Международной топливно-энергетической ассоциации, институтов РАН, статистические данные в том числе Международной энергетической ассоциации.

технологии их добычи, транспорта и переработки, инновационные решения в области генерации и распределения электроэнергии, опирающиеся на достижения в области энергетического машиностроения, научные и инженерно-технические кадры самой высокой квалификации.

С этих позиций и перейдем к анализу деятельности ТЭК России. Целесообразно не просто привести цифры добычи и потребления первичных ресурсов, а также выработки электроэнергии, но рассмотреть динамику, связанную как с освоением новых технологий, так и с важнейшими событиями в жизни страны. В СССР было принято сравнивать достижения страны с уровнем 1913 г. Сегодня это вряд ли уместно. Для сравнения выберем три периода: 1940, 1970, 1990 гг. и современный период (таблица). Первая дата отражает завершение периода индустриализации страны и готовность отразить внешнюю агрессию накануне Второй мировой войны. Вторая во многом связана с восстановлением народного хозяйства после Великой Отечественной войны. Третья характеризует завершение этапа построения «развитого социализма».

Анализируя приведённые в таблице данные, прежде всего отметим колоссальный скачок в производстве нефти, газа и электроэнергии в период 1970–1990 гг.

В это время освоены крупнейшие месторождения газа Западной Сибири, включая районы вечной мерзлоты, осуществлён трубопроводный транспорт газа в Западную Европу, разработаны и созданы новые технологии переработки тяжёлой нефти и газа с большим содержанием сероводорода, производство электроэнергии с использованием чистого газового топлива достигло 42% при ежегодном вводе генерирующих мощностей до 10 ГВт, создана атомная электроэнергетика. Эти впечатляющие результаты достигнуты под руководством талантливых министров нефтяной, газовой промышленности и энергетики: А. К. Кортунова, С. А. Оруджева, П. С. Непорожного и конечно председателя Госплана СССР Н. К. Байбакова.

Мне повезло общаться с П. С. Непорожным в последние годы его жизни. Много лет до настоящего времени я участвую в деятельности Международной топливно-энергетической ассоциации (МТЭА), президентом которой является Гранд Джаванширович Маргулов, работавший вместе с названными министрами.

Именно в трудах МТЭА впервые сформулировано положение о том, что громадные достижения в добыче природного газа и технологиях его использования позволяют говорить не о газовой паузе в энергетике, а об эпохе метана.

**Динамика добычи энергоресурсов и производства электроэнергии в разные периоды СССР и современной России**

	1940	1970	1990	2008	2013
Нефть, млн т у.т.	47.29	541.9	818.65	697.2	750.7
Уголь, млн т у.т.	161.0	432.4	429.73	326.1	347.0
Газ, млн т у.т.	3.45	252.2	943.67	763.1	771.2
Электроэнергия, млрд кВт · ч		800.6	1727.0	1037.0	1024

Различие в терминологии носит принципиальный характер. Газовая пауза предполагает сосредоточение основных усилий на разработке и освоении в этот период новых угольных технологий как основы энергетики.

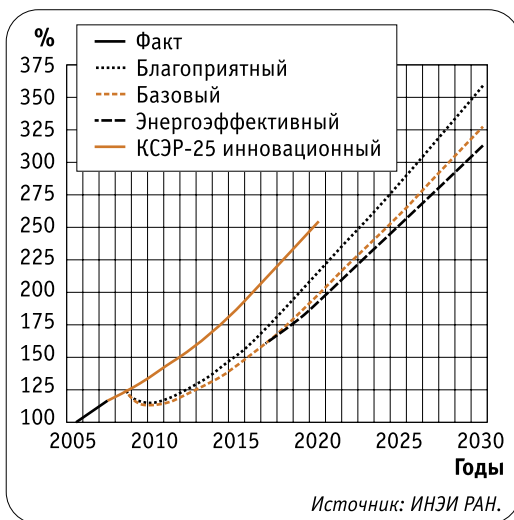
Эпоха метана означает, что, опираясь на разработку новых газовых месторождений, как традиционных, так и нетрадиционных, должна быть создана международная газотранспортная система, разработаны высокоэффективные энергетические технологии, в первую очередь газотурбинные, созданы новые отрасли промышленности, такие как газохимия, проведена глобальная газификация территории страны. Уголь остаётся в качестве основы энергетики в районах его основной добычи при соблюдении жёстких экологических требований, обеспечиваемых применением современных технологий.

Переходя к анализу современного периода в деятельности ТЭК, отметим, что основные плановые показатели развития его отраслей закладывались в утверждаемую Правительством России Энергетическую стратегию. Такие документы были приняты на период до

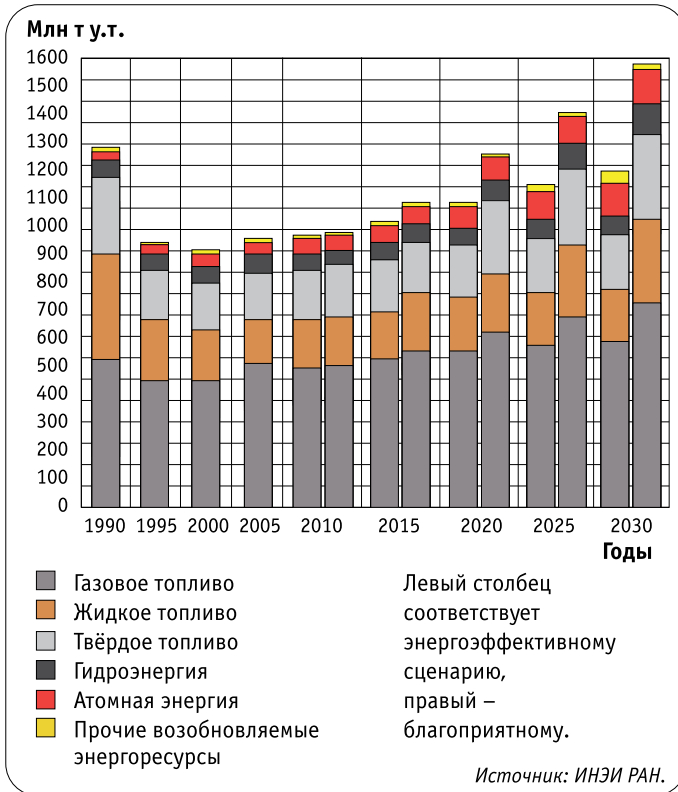
2010 г., до 2030 г. с внесением необходимых изменений не реже одного раза в 5 лет. Тщательный анализ хода реализации ЭС-2020 был выполнен в 2008 г. одновременно с подготовкой проекта ЭС-2030 (утверждена 13.11.2009 г.)

Рассмотрение итогов выполнения ЭС-2020 к 2008 г. свидетельствовало об устойчивости производственных показателей развития ТЭК и достаточной обоснованности прогнозов. Отклонение основных фактически достигнутых показателей производства и потребления ТЭР от прогнозных не превысило 10%. Это обстоятельство наряду с прогнозными оценками социально-экономического развития России на период до 2030 г. послужило основой для разработки ЭС-2030.

Прогнозные оценки роста ВВП страны, подготовленные Институтом энергетических исследований (ИНЭИ) РАН, представлены на рис. 1, где в качестве **базового сценария** принято восстановление после преодоления кризиса темпов роста, заложенных в **инновационный сценарий** Концепции долгосрочного социально-экономического развития страны (на период до 2020 г. – КСЭР-2020).



**Рис. 1.**  
Прогнозы  
динамики ВВП  
в России,  
% к 2005 г.



**Рис. 2.**  
**Внутреннее потребление основных энергоресурсов, млн т у.т.**

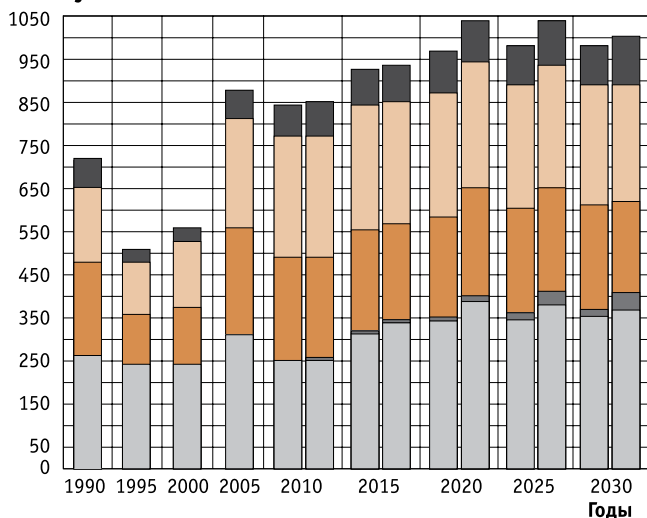
Учёт возможностей, связанных с ростом энергоэффективности экономики при введении жёстких ограничений экологического характера позволяют сформировать **энергоэффективный сценарий**. Отличия между энергоэффективным и базовым сценариями не велики. Наконец, **благоприятный сценарий** предполагает ускоренное освоение российских природных ресурсов и прогрессивных технологий глубоких уровней передела.

На рис. 2 представлены соответствующие прогнозы динамики внутреннего потребления основных энергоресурсов на период до 2030 г. Они вполне оптимистичны: темпы роста основных показателей соответствуют мировым, производство нефти и природного газа не только обеспечивает внутренние по-

требности страны, но и позволяют за счёт экспорта (рис. 3) обеспечить основную долю валютных поступлений, создав резервный фонд.

Прошло пять лет с момента утверждения ЭС-2030 – срок, предусмотренный для внесения изменений в связи с изменениями внешних условий и готовностью страны адекватно на них реагировать. Изменения безусловно произошли. Добыча и потребление первичных энергоресурсов в мире во времени менялись крайне неравномерно. Прирост добычи нефти в мире в 2014 г. составил 2.3%, вдвое превысив прирост потребления. На первое место в мире по производству нефти (с учётом сланцевой) вышли США. В России прирост добычи нефти составил 0.6%, и к 2020 г. по сло-

Млн т.т.



Левый столбец соответствует энергоэффективному сценарию, правый – благоприятному.

- Нефть
- Сжиженный газ
- Сетевой газ
- Нефтепродукты
- Уголь, электроэнергия

Источник: ИНЭИ РАН.

**Рис. 3.**  
**Экспорт основных видов энергоресурсов, млн т у.т.**

вам министра энергетики РФ А.В. Новака добыча может даже сократиться, а к 2035 г. в России может добываться только 560 млн т, что означает прирост примерно на 12% по сравнению с 2014 г. (прогноз – 14%). Мировая добыча газа увеличилась только на 1.6%, а в России снизилась на 4.3%. При этом мировое потребление газа увеличилось лишь на 0.4%, а в странах ЕС снизилось на 11.6% при среднем годовом приросте за последние 20 лет в 2.4%.

Поставки трубопроводного газа из России снизилась на 11.8% (в мире на 6.2%), в то время как торговля СПГ в мире выросла на 2.4%, достигнув 33.4%. Наконец, в России темпы роста ВВП снижаются в разы, а роль ТЭК как локомотива развития ставится под сомнение. В этих условиях проект ЭС-2035 направлен на

коренное изменение целей и механизмов развития ТЭК, на переход от ресурсно-сырьевого к ресурсно-инновационному развитию, и от “локомотива развития” к стимулирующей инфраструктуре, обеспечивающей создание условий для развития экономики, включая её диверсификацию, рост технологического уровня.

Применительно к сырьевому крылу ТЭК это означает (наряду с вовлечением в оборот новых месторождений на шельфе и в Восточной Сибири) инновационную модернизацию используемых технологий разведки, извлечения, транспорта и переработки первичных энергоресурсов.

В нефте- и газодобывающих отраслях сформированы и действуют крупные компании, в большой степени отслеживающие новейшие технологиче-

ские достижения. И тем не менее, среди перспективных технологий, указанных ещё в ЭС-2030, не освоенными широко остались:

- 3D морская сейсморазведка с использованием буксируемых 3-х мерных решёток;
- 3D моделирование геологического строения и картирования перспективных и разрабатываемых месторождений;
- бурение протяжённых горизонтальных скважин;
- освоение трудно извлекаемых запасов нефти;
- увеличение глубиной (до 90 ÷ 95%) переработки сырой нефти;
- 100%-ная утилизация попутных нефтяных газов;
- технологии разведки и извлечения газгидратов, энергетическая ценность которых по оценкам в 2 раза превосходит все традиционные мировые запасы нефти, газа и угля.

Россия пропустила мировой всплеск интереса к сланцевой нефти, широко разрекламированной в США. Возможно, что сегодня сланцевая нефть для нас не представляет интереса, но обладать технологией её добычи необходимо. Ещё более необходимо расширить возможности производства и поставок потребителям сжиженного природного газа.

Применительно к угледобывающей промышленности инновационные разработки предусматривают в первую очередь:

- создание роботизированных и интегрированных технологий с целью повышения производительности и безопасности подземных работ;
- обогащение и повышение качества энергетических углей;
- новые технологии рекультивации и формирования ландшафтов.

Электроэнергетика в составе ТЭК требует отдельного рассмотрения. К концу предыдущего столетия установленная мощность электростанций СССР составляла 252 ГВт. Более половины электроэнергии вырабатывалось с использованием природного газа в качестве

первичного топлива. В настоящее время эта доля продолжает увеличиваться. В проекте ЭС-2035 планируется введение новых мощностей в объёме 100 ГВт (в СССР ввод мощностей доходил до 10 ГВт в год, Китай вводит до 50 ГВт в год угольных энергоблоков). Столь скромная цифра соответствует принятой концепции долгосрочного социально-экономического развития страны. Предполагается, что используемые технологии будут основываться в первую очередь на применении газовых турбин и парогазовых установок, что отражает мировые тенденции развития электроэнергетики на ископаемых видах топлива. В предыдущей статье мы обсудили преимущества использования на тепловых станциях парогазовых установок вместо выработавших свой срок паротурбинных и возникающие при этом проблемы, связанные с необходимостью закупки иностранного энергетического оборудования<sup>2</sup>. По нашему мнению, ориентация на иностранное энергетическое оборудование сегодня, в условиях экономических санкций, создаёт прямую угрозу энергетической безопасности страны.

Возможно, именно эти соображения послужили основой обращения в 2014 г. к президенту страны министров энергетики, промышленности и торговли и президента Российской академии наук с обоснованием необходимости разработки и создания отечественной энергетической газовой турбины большой (~350 МВт) мощности. Соответствующие поручения президентом были даны Министерству промышленности и торговли и Министерству энергетики. Прошёл год, и только в декабре 2015 г. появился проект программы импортозамещения в области газотурбинных технологий с упоминанием необходимости создания такой ГТУ к 2035 г. Зато фирма Сименс оперативно отреагировала, создав в России производство ГТ (SGTS-4000F)

<sup>2</sup> Батенин В.М. Проблемы энергетики России. «Энергия: экономика, техника, экология». 2016. № 4.

мощностью 307 МВт с локализацией существенно меньшей 100%. (Даже для ГТ SGT-800 мощностью 53 МВт локализация 50÷70% будет достигнута только к 2020 г.)

Единственное по смыслу реально отвечающее сегодня за развитие науки Министерство образования и науки не привлечено к проблеме создания энергетической ГТУ большой мощности. Это одно из свидетельств отсутствия в стране чёткой системы поддержки и реализации инновационных проектов по принципу технологического коридора – от фундаментальных и прикладных НИР до внедрения и тиражирования результатов, воссоздания и развития научно-технического и кадрового потенциала.

Создание такой системы применительно к проблемам ТЭК требует коренного изменения позиций ключевых министерств.

Государство должно вернуться в энергетику, превратив Минэнерго из Министерства торговли энергоресурсами в орган разработки и координации технической политики (в первую очередь в области генерации), реально взаимодействующий с ОГК и ТГК, с отечественным энергомашиностроением.

Финансирование инновационных разработок, создание головных образцов, их доводка и всесторонние испытания вряд ли возможны только за счёт госбюджета. Рассчитывать на появление активных частных инвесторов в энергетике вряд ли возможно. Даже используя самые передовые технологии, инвестор не может конкурировать на российском рынке с действующими энергетическими компаниями, получившими в свои руки реальное оборудование практически бесплатно. Средства на инновационные разработки, создание и освоение новых технологий могут быть получены путём включения в себестоимость электроэнергии инновационной составляющей, изымаемой у производителя с образованием Государственного инновационного фонда под контролем нового Минэнерго.

Оценки показывают, что при нынешнем объёме производства электроэнергии достаточна дополнительная составляющая менее 1 цента США за кВт·ч.

Реализация в той или иной форме перечисленных мероприятий является абсолютно необходимым условием инновационного развития отечественной электроэнергетики. При этом, учитывая огромную инерционность отрасли, результаты этой деятельности скажутся, к сожалению, далеко не завтра. (Отечественная газовая турбина мощностью 110 МВт, разработанная ещё в СССР, до настоящего времени всё ещё находится “в процессе доводки”.) Поэтому наряду с острой необходимостью разработки современных отечественных энергетических газовых турбин большой мощности (термин “догнать и перегнать” здесь вряд ли уместен) должны быть реализованы преимущества использования в условиях России оригинальных схем применения авиапроизводных газовых турбин при создании энергоблоков единичной мощностью до ~100 МВт.

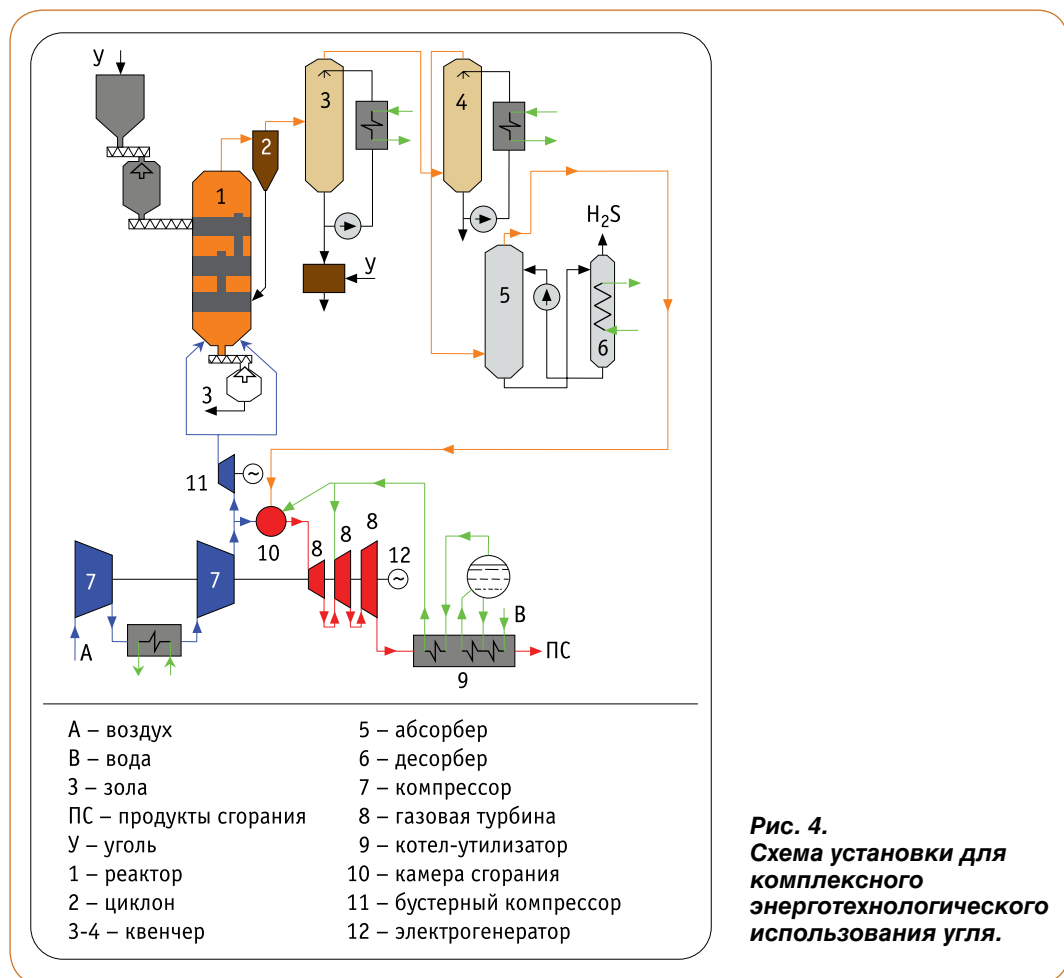
Основные аргументы в пользу этого решения таковы. Во-первых, энергоблоки мощностью до 100 МВт найдут широкое применение в большинстве областных и районных центров и послужат основообразующими элементами местного энергосистем. Во-вторых, технологии создания авиационных газовых турбин находятся на самом современном уровне, а появление дополнительного энергетического рынка подобных установок будет способствовать их дальнейшему совершенствованию, дополнительной загрузке существующих производств в системе Объединённой двигательной корпорации. В-третьих, возможность работы авиапроизводных газовых турбин на земле доказана их широким использованием в газотранспортных системах. В-четвёртых, использование инъекции пара в камеру сгорания газовой турбины (КС ГТ), предложенное академиком С.А. Христиановичем, позволяет в разы поднять мощность исходного ГТД и уве-

личить его КПД до ~50%. И, наконец, в-пятых, подобные газовые турбины могут быть использованы в энерготехнологических комплексах совместной выработки электроэнергии и иной товарной продукции (в частности, синтетического жидкого топлива), что резко увеличивает эффективность использования первичных энергоресурсов.

Положительный опыт наземного использования авиапроизводных газовых турбин имеется. В России в газотранспортных системах используются не только отечественные турбины, но и высокоэффективные импортные. В новейшей

газотранспортной системе “Северный поток” на компрессорной станции “Портовая” работают ГТУ RB211 DLE (Dry Low Emissions) и Trent 60 DLE. Первая представляет собой установку мощностью до 32 кВт, созданную на основе двигателя самолёта Boeing 747. Вторая мощностью до 58 МВт создана на базе двигателя компании Rolls-Royce, применявшегося на самолётах Airbus A330.

Несколько слов о твёрдом топливе. В отличие от природного газа использование угля в энергетике не может опираться на более или менее единую универсальную технологию, обеспечивающую



**Рис. 4.**  
**Схема установки для комплексного энерготехнологического использования угля.**



щую высокую экономическую эффективность, что связано с существенным различием в свойствах углей различных районов добычи. По всей вероятности, распространённые сегодня энергоблоки с пылеугольными котлами и сверхкритическими параметрами пара останутся основой использования твёрдого топлива. Совершенствование этой технологии возможно в нескольких направлениях.

1. Переход к суперсверхкритическим параметрам пара ( $T = 700/720^{\circ}\text{C}$ ,  $P = 35$  МПа) позволяет повысить КПД энергоблоков до 42÷45%, однако требует использования дорогих конструкционных материалов, что существенно повышает их стоимость. При этом экономические выгоды достигаются только при использовании достаточно дорогих углей.

2. Предварительная газификация углей с дальнейшим использованием парогазовых технологий также увеличивает капитальные затраты и может стать экономически оправданной при использовании высокосернистых углей с сероочисткой на этапе предварительной газификации.

3. Применение котлов с циркулирующим кипящим слоем представляется перспективным для многих углей российских регионов. Их разработка, изготовление и достаточно широкое применение предусматривается энергетической стратегией ЭС-2035.

Россия обладает огромными запасами относительно дешёвых углей Восточной Сибири в первую очередь в Канско-Ачинском бассейне. Попытка их использования на месте путём строительства крупных ТЭС была предпринята ещё в советское время, но столкнулись с географо-экологическими проблемами.

Транспорт этих углей на значительные расстояния невозможен из-за их пирофорности<sup>3</sup>. Широкое применение

газификации экономически не оправдано, так как угли достаточно дешёвы, а очистка от серы не требуется. (Дело в том, что увеличение капитальных затрат, связанное с газификацией, при низкой стоимости топлива не окупается ростом КПД блоков.)

ОИВТ РАН разработал модифицированную технологию пирогазификации, позволяющую получить из угля не только очищенный газ для парогазовых установок, но и побочные продукты в виде синтетического жидкого и облагороженного твёрдого топлива, имеющие существенно более высокую потребительскую стоимость, чем исходный уголь (рис. 4). Подобная энергохимическая технология позволяет снизить стоимость генерируемой энергии на 15÷20% и получить топлива (газ, СЖТ, угольные брикеты), пригодные для транспортирования на значительные расстояния.

Использование твёрдого топлива требует решения ещё одной крупной проблемы – золошлаковых отходов (ЗШО). Сегодня накопленный их объём составляет миллионы тонн. Золоотвалы электростанций переполнены, гидротранспорт ЗШО создаёт экологические проблемы в окружающих водных бассейнах. И в то же время в ЗШО содержание только глинозёма позволило бы обеспечить сырьём алюминиевую промышленность на многие годы (а мы сегодня ввозим сырьё из Австрии). Технологии 100%-го использования золошлаковых отходов действующих электростанций сегодня разработаны, необходимое оборудование может быть изготовлено отечественной промышленностью. **В рамках государственной технической политики необходима разработка экономических стимулов и экологических ограничений, побуждающих электроэнергетические компании реализовать эти технологии.**

<sup>3</sup> Пирофорность – способность твёрдого материала в мелкораздробленном состоянии к самовоспламенению на воздухе при отсутствии нагрева. <https://ru.wikipedia.org/wiki/пирофорность>