

ПРИОРИТЕТНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ТРАНСФОРМАЦИИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СЕКТОРА В ЭКОНОМИКЕ, ОСНОВАННОЙ НА ЗНАНИИ

Рассматриваются приоритетные направления развития энергетического сектора в экономике, основанной на знании.

Ключевые слова: энергетический сектор; ядерная энергетика; водородная энергетика; экономика, основанная на знании.

Экономика, основанная на знании, предполагает радикальное качественное изменение условий и результатов функционирования энергетического сектора. Поэтому необходимы кардинальный пересмотр существующих методов регулирования энергетического сектора и переоценка стратегии использования различных видов энергетических ресурсов.

Острота проблем развития новой энергетической базы в значительной степени определяется соотношением количественных и качественных характеристик экономического роста, главными отличительными чертами которого являются: глобальный технологический переворот, переход от ресурсопоглощающей модели экономического развития к наукоемкой, повышение продуктивности использования всех факторов общественного производства, повышение благосостояния населения не столько за счет роста количества материальных и духовных благ, сколько за счет повышения их качества, включение в понятие благосостояния здоровой окружающей среды.

Ключевой проблемой в определении долгосрочных стратегий развития национальной энергетики является энергосбережение, или точнее повышение эффективности использования энергии.

Анализ факторов и пределов изменения пропорций между экономическим ростом и энергопотреблением показывает, что движущей силой энергосбережения все в большей степени становится переход к ресурсосберегающему типу экономического роста.

При выборе направлений развития энергокомплекса необходимо учитывать тенденцию к росту дефицита энергоресурсов. По оценкам Международного энергетического агентства (IEA) к 2030 г. суммарное потребление первичных энергоресурсов (ПЭР) в мире увеличится на 54%. Лидерами по темпам роста энергопотребления станут страны БРИК (Бразилия, Индия, Китай) и Африки. Суммарное увеличение ПЭР к 2030 г. составит порядка 8000 млн т условного топлива [1. С. 7].

При этом для удовлетворения потребностей глобальной экономической системы в энергии к 2030 г. мощности по производству электро- и тепловой энергии должны быть увеличены (по оценкам Всемирной ядерной ассоциации (WNA)) на 3500 ГВт [2. С. 23].

Задача трудновыполнима ввиду серьезных ограничений мировой ресурсной базы. Существующая структура мирового энергобаланса, характеризующаяся преобладанием углеводородов (нефти, газа и угля), не может быть воспроизведена в соответствии с прогнозируемым ростом энергопотребления. Геологических запасов нефти и газа, производственных, транспортных и распределительных мощностей всех нефтегазовых компаний планеты не хватит, чтобы в два раза увеличить производство электро- и тепловой энергии в ближай-

шие 20–25 лет. Следствием этого должны стать постепенные изменения в инфраструктуре производства энергии, обусловленные как экономическими (повышение цен и их изменчивость), так и природоохранными факторами, а также дальнейшим развитием технологий новых видов топлива.

В последнее время большое внимание в международных дискуссиях уделялось экологическим последствиям использования ископаемого топлива. Введение глобальных ограничений на выбросы парниковых газов и региональные ограничения на другие загрязнители атмосферы серьезно повлияют на структуру эволюционирующей мировой энергетики и потребуют значительных инвестиций для сдерживания роста выбросов.

В складывающейся ситуации необходимо переходить к энергоносителям, альтернативным нефти и газу, на основе реализации научно-инновационного потенциала отрасли.

При этом для дальнейшего развития энергетического сектора необходимо определить критерии приоритетности выбора энергопреобразователей и технологий для альтернативной энергетики.

Во-первых, это должна быть «экологически чистая» технология с высоким уровнем безопасности и фактическим отсутствием выбросов CO₂ в атмосферу.

Во-вторых, потенциал нетрадиционной энергетики, т.е. ее ресурсная база, должен быть достаточным для обеспечения потребностей мирового сообщества.

В-третьих, данная технология должна иметь высокие экономические показатели, определяющие эффективность энергокомплекса.

В этом смысле существует несколько вариантов. Первый из них – возврат к масштабному использованию угля. При этом возникают, по крайней мере, две серьезные проблемы. Это «экологически чистые» технологии переработки угля, недостаточная степень проработки которых не позволяет реализовать их масштабное промышленное использование, и развитие инфраструктуры по транспортировке угля. Последнее потребует значительных инвестиций в развитие транспортной сети, необходимой для перемещения добываемого угля. Размер данных капитальных вложений в настоящее время даже приблизительно не определен.

Другим теоретически возможным вариантом является изменение структуры мирового энергобаланса за счет масштабного применения возобновляемых источников энергии (биотоплива, энергии ветра, Солнца и т.д.).

Однако доля так называемых нетрадиционных источников энергии (ветровой, солнечной, приливов и т.д.) в общей структуре энергоисточников в настоящее время не превышает 4–6% по миру. Высокие капитальные, эксплуатационные и другие затраты не позволяют

вывести их на глобальный уровень и сделать реальной альтернативой углеводородам.

За 1990–2008 гг. в развитых странах, несмотря на их активную политику, поставки первичной возобновляемой энергии (ВЭ) увеличились незначительно – с 262 до 337 млн т нефтяного эквивалента. Данное увеличение соответствовало общему росту потребления энергии, поэтому доля ВЭ в общей структуре энергопотребления почти не изменилась – 5,8 и 5,9% соответственно [1. С. 9].

Но при этом следует иметь в виду, что многие возобновляемые источники энергии (с использованием биомассы, гидроэнергии, дешевой части энергии ветра и недр) обладают хорошими технико-экономическими показателями и уже сегодня могут конкурировать с традиционными энергоисточниками. Другие же виды возобновляемых источников (солнечная энергия, энергия приливов, волн и течений) станут конкурентоспособными лишь в перспективе, когда произойдет существенное удорожание органического топлива.

Очевидно, создание конкурентоспособной нетрадиционной энергетики, способной играть существенную роль в энергобалансе, даже при условии принятия соответствующих политических решений и масштабных инвестиций, займет не одно десятилетие.

В этом смысле переходной производственной структурой в мировой энергетике, способной уменьшить дефицит электроэнергии, являются атомные станции. АЭС, имея ряд неоспоримых преимуществ, таких как высокий уровень безопасности, фактическое отсутствие выбросов CO₂ в атмосферу, высокие экономические показатели, а также отсутствие прямой зависимости от мировых цен на углеводородные носители, становятся одним из основных возможных вариантов преодоления глобального энергокризиса как минимум до 2030–2040 гг., т.е. до момента возможного массового внедрения принципиально новой альтернативной технологии по производству энергии.

Комбинируя различные виды топлива, замедлителей и конструкционных материалов, можно создать более 600 типов реакторов, из которых около 200 вполне реальны. За время развития ядерной энергетики сформировалось несколько направлений энергетических реакторов. Некоторые из них имеют хорошие перспективы на будущее – легководные реакторы, тяжеловодные, реакторы на быстрых нейтронах [3. С. 49].

Каждый тип реакторов, устанавливаемых на предприятиях по подготовке ядерного топлива и переработке облученного (выгружаемого из реактора), имеет индивидуальные особенности. Они образуют так называемый топливный ядерный цикл (открытый, если отработавшее топливо не перерабатывается, и закрытый, если после переработки часть радиоактивных веществ, недовыгоревших или вновь образовавшихся, снова поступает в энергетические реакторы, пусть даже другого типа).

В природном уране содержится менее 1% (0,7%) урана-235, который используется в современных реакторах на тепловых нейтронах (LWR, PWR, ВВЭР и др.). Остальную часть составляет уран-238 (и некоторые другие изотопы), который может сжигаться лишь в реакторах на быстрых (с высокой энергией) нейтронах (бридерах). Поэтому при развитии ядерной энергетики

с применением лишь тепловых реакторов экономичные запасы природного урана будут исчерпаны довольно быстро. Применение же бридеров позволит использовать более 80% энергии природного урана, и его запасов хватит на несколько столетий при всех реально возможных масштабах развития ядерной энергетики. При этом отработавшее топливо, включая образовавшийся плутоний, надо перерабатывать, т.е. создавать замкнутый ядерный топливный цикл.

Сейчас в мире используются преимущественно реакторы на тепловых нейтронах с открытым топливным циклом (отработавшее топливо находится в долгосрочном хранении). Лишь в нескольких странах (ФРГ, Франция, Бельгия, Великобритания, Япония) организован замкнутый топливный цикл тепловых реакторов.

Экспериментальные или головные образцы быстрых реакторов построены в России, Франции, США, Индии и Японии. Однако настоящий замкнутый цикл для них не организован. Главными сдерживающими обстоятельствами являются проблемы обращения с плутонием, пригодным для изготовления ядерного оружия (проблема нераспространения), и более высокая стоимость быстрых реакторов по сравнению с тепловыми.

При этом, чтобы в глобальном масштабе существенно повлиять на производство энергии, обеспечить энергетическую безопасность и ослабление парникового эффекта, производство ядерной энергии должно быть увеличено к середине века в 4–5 раз от ныне достигнутого. Наличие ядерных мощностей такого масштаба поднимает очень важные вопросы ресурсной обеспеченности дешевым топливом, обращения с отходами и распространения ядерного оружия. Очевидно, что при дальнейшем развитии ядерной энергетики необходимо обеспечить также экономическую приемлемость и соблюдение критериев технической безопасности. Крупномасштабное развитие ядерной энергетики предполагает ее использование в большем числе стран, чем в настоящее время. Это, учитывая связанные с ядерной энергетикой проблемы безопасности и нераспространения, ставит дополнительные задачи в ее развитии.

Говоря об экономической приемлемости ядерной энергетики, следует помнить, что она занимает свою нишу среди производителей энергии. В настоящее время во многих странах она обеспечивает базовую электрическую нагрузку. В перспективе ядерная энергетика будет постепенно замещать природный газ в производстве тепла для технологических процессов и в конечном счете, обеспечит производство водорода из воды, что сохранит природное органическое сырье для неэнергетического применения. Кроме того, будет освоено опреснение морской воды с использованием ядерной энергии.

В мире имеется достаточное количество ядерных материалов для обеспечения потребностей ядерной энергетики в топливе на многие десятилетия вперед. Однако в дальнейшем она неизбежно столкнется с ограниченностью ресурсов дешевого урана. В связи с этим придется неминуемо реализовать замыкание топливного цикла и расширенное воспроизводство топлива при использовании в качестве сырья урана и тория. Внедрением таких инновационных ядерных техноло-

гий проблемы ресурсов ядерного топлива могут быть вообще сняты.

Исключительную важность имеет проблема обращения с большими объемами руды при добыче урана, отработанным топливом и высокорadioактивными отходами.

Главной проблемой ядерной энергетики продолжает оставаться проблема нераспространения. Снижение риска распространения, безусловно, будет одним из важных критериев при выборе перспективных топливных циклов. Кроме того, на США и России лежит особая ответственность за сокращение накопленных в этих странах огромных запасов, допускающих военное использование ядерных материалов. Имеющийся опыт свидетельствует о том, что для эффективного снижения риска распространения делящихся материалов требуется не только рассмотрение новых технологических подходов, но и разработка новых институциональных рамок. Среди них: лизинг топлива и реакторов, контракты на поставки топлива с сопровождением «от колыбели до могилы», создание крупных международных центров ядерного топливного цикла, обеспечение международного контроля этих центров и мониторинга всего топливного цикла.

Одним из ключевых факторов, определяющих возможный «облик» мировой ядерно-энергетической системы XXI в., является наличие урановых ресурсов. Наиболее широко используемые оценки содержатся в периодически публикуемой NEA/OECD «Красной книге» – сводке мировых данных по запасам, производству и потребностям в уране. Согласно обзору 2008 г., известные мировые запасы урана по наивысшей рассматриваемой сегодня цене в 130 долл. за килограмм урана оцениваются в 16,2 млн метрических тонн. Если добавить к этой величине уже извлеченные ресурсы – коммерческие запасы, запасы из военных складах, а также уран, извлекаемый при повторном обогащении обедненного урана, можно довести оценку мировых ресурсов урана до 17,1 млн т [4. С. 43].

Торий может расширить топливную базу ядерной энергетики в несколько раз. Но для этого нужно создать промышленность по его добыче, производству и переработке. Однако он как потенциальный топливный ресурс не конкурирует с ураном, а создает дополнительные ресурсные возможности.

Максимальная оценка возможного роста атомной энергетики и ее роли в энергетике мира выполнена Международным энергетическим агентством исходя из ресурса 26 млн тонн природного урана с вводом быстрых реакторов с замкнутым циклом с 2030 г. В этом случае ядерная энергетика может производить примерно 70% электричества к 2050 г. и 85% к 2100 г. Эта программа практически стабилизирует добычу органического топлива для производства электричества на современном уровне. Экономия газа в производстве электричества позволит использовать его вместо нефти, добыча которой снижается. И, наконец, эта программа развития ядерной энергетики позволяет стабилизировать эмиссию CO₂ на современном уровне.

Изучение путей экологически чистого обеспечения развивающегося общества энергией показывает, что кардинальное решение этой глобальной проблемы необ-

ходимо связывать с разработкой и осуществлением концепции атомно-водородной энергетики, предусматривающей крупномасштабное производство с помощью реакторов не только электроэнергии и тепла, но и водорода. При производстве и использовании водорода практически отсутствуют вредные выбросы в атмосферу.

Атомно-водородная концепция предусматривает расширение использования ядерной энергетики для энергоемких отраслей химической, металлургической, строительной, топливной промышленности, а также в централизованном теплоснабжении распределенных потребителей. И, наконец, атомно-водородная концепция предполагает крупномасштабное производство пресной воды. Такая энергетика сохранит нефть и газ для неэнергетических производств и обезопасит атмосферу от вредных выбросов продуктов сгорания.

К развитию водородной энергетики подключились правительства ряда стран и межгосударственные объединения, формируя национальные и международные водородные программы.

В США в 1996, 2001 и 2003 гг. были приняты законы «О водородном будущем». В 2003 г. Президент США провозгласил «Инициативу в области водородного топлива». Разработана программа деятельности в этой области на 15 лет, намечено выделение на реализацию «инициативы» 1,7 млрд долл. бюджетных ресурсов и еще в больших размерах привлечение частного капитала. Для координации реализации программы создана межведомственная рабочая группа (включающая представителей 9 федеральных министерств) под руководством Управления по научно-технической политике при Президенте США.

В Европейском союзе в рамках шестой рамочной программы по научным исследованиям было выделено 300 млн евро на разработку проблем водородной энергетики. В 2004 г. провозглашена Европейская технологическая платформа в области энергетики и водородных элементов, предусматривающая программу работ до 2050 г. На программу намечено выделить 2 млрд евро. В Японии принята водородная программа на период до 2020 г. с выделением 4 млрд долл.; уже в 2010 г. намечено поставить на рынок 10 тыс. автомобилей с водородным двигателем. Исландия планирует к 2020 г. полностью перейти на водородное топливо. Исследования в области водородной энергетики развернуты в Китае, Индии, Франции, Канаде, Швеции, Испании, Украине, Белоруссии и других странах [4. С. 201].

Следует отметить, что водород можно производить из ископаемых видов топлива, а также из ядерных или возобновляемых видов энергии при помощи различных процессов. Это электролиз воды, реформинг природного газа, газификация угля или биомассы, распыление воды при помощи высокотемпературных источников тепла, фотоэлектролиз и биологические процессы.

Из пяти ЭДж (около 100 млн т н. э.) годового производства водорода в мире 40% используется в химических процессах, 40% – на нефтеперерабатывающих заводах (НПЗ) и 20% – в других отраслях. В 2003 г. 48% всего водорода было произведено из природного газа, 30% – из нефти и выхлопных газов НПЗ и химических комбинатов, 18% – из угля и 4% – путем электролиза. Большая часть получена на НПЗ и химических

комбинациях в технологических, а не в энергетических целях.

Децентрализованное производство водорода основывается на электролизе воды и небольших реформинг-установках. Централизованное производство пока себя не оправдывает. Электролиз – дорогой процесс, дающий водород высокой степени чистоты. Стоимость электролиза может быть значительно снижена, но электричество остается дорогим сырьем для промышленности в большинстве стран мира. Существуют вполне доступные установки реформинга небольшого размера. Несколько демонстрационных проектов тестируют эти единицы в промышленном применении. За последние годы производители значительно улучшили характеристики выпускаемых установок: сократили размеры до $10 \times 3 \times 3$ м и увеличили емкость до 500–700 норм. м^3 в час, эквивалентных 5,5–7,5 ГДж/ч [3. С. 52].

Когда спрос на водород будет достаточным, чтобы оправдать централизованное производство этих установок, производство водорода из природного газа или угля можно будет тоже сделать централизованным. Если же целью является уменьшение выхлопных газов, то такие процессы необходимо использовать совместно с улавливанием и утилизацией CO_2 .

Производство водорода на основе газификации угля также является отработанной технологией, но ее стоимость выше, чем производство из природного газа.

Однако более дешевые установки газификации, новые технологии производства кислорода могут удешевить водород, добываемый из угля. Следует отметить, что за последние годы в мировой практике большое

развитие получила совместная генерация электричества и водорода из угля, поскольку это может сильно снизить стоимость производства.

Дальнейшее развитие НИОКР нужно для уменьшения стоимости и повышения эффективности децентрализованного производства водорода. Такое производство позволяет избежать строительства дорогой водородно-транспортной инфраструктуры, что в некоторой степени достигается за счет меньшей эффективности небольших заводов.

Материальная емкость ядерных и водородных технологий требует объединения усилий сообщества. Демонстрацией такого подхода могут служить международные проекты Generation IV, ИНПРО (Международный проект по инновационным ядерным реакторам и топливным циклам), а также Международное партнерство по водородной экономике.

Таким образом, анализ тенденций развития мирового энергопроизводства показывает, что использование атомной и водородной энергетики в качестве полномасштабной стратегии в первой половине XXI в. является приоритетом развития энергетического сектора до 2050 г.

В более долгосрочной перспективе в связи с постепенным выходом из строя сети трубопроводов и электропередач, опутавших национальные государства, необходимо будет совершить переход на «беспроводную» и «беструбную» систему энергоснабжения. Единственно возможным в этом смысле является становление и развитие космоэнергетики.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Самошин Ю.В.* Основные проблемы современного этапа развития мировой энергетики // Российский внешнеэкономический вестник. 2008. № 9. С. 6–12.
2. WNA Report, World Nuclear Association. London, 2006. 105 p.
3. *Телегина Е.* Энергетические технологии и развитие мировой энергетики в XXI веке // МЭиМО. 2007. № 6. С. 48–53.
4. *Хлебников В.В.* Топливо-энергетический комплекс России в XXI веке: стратегия развития энергетического будущего. М.: Научтехлитиздат, 2006. 331 с.

Статья представлена научной редакцией «Экономика» 1 марта 2010 г.