

Межтопливная конкуренция

Митрова Т.А., Галкина А.А.

Анализ факторов, определяющих спрос на энергетические ресурсы, является традиционным направлением прикладных экономических исследований, при этом вся история развития антропогенной энергетики связана с расширением межтопливной конкуренции – с развитием новых источников энергии, позволяющих увеличить круг доступных для человечества вариантов удовлетворения своих энергетических нужд.

В последние десятилетия продвижения в коммерциализации широкого спектра нетрадиционных энергетических ресурсов (глубоководные и трудно извлекаемые запасы нефти, различные виды нетрадиционного газа и биомассы) и технологий – газотурбинные, ветровые и атомные электростанции, солнечные батареи, аккумуляторы электроэнергии и другие – не только сильно расширили ресурсную базу энергетики, но и заметно увеличили взаимозаменяемость энергоносителей.

Из приведенного анализа структуры энергопотребления по секторам следует вывод: новые технологии и национальные энергополитики поддерживают сохранение исторического тренда на усиление межтопливной конкуренции и диверсификацию топливной корзины во всех секторах энергопотребления. В перспективе доступные нетрадиционные энергоресурсы и новые технологии способны существенно увеличить как экономически приемлемые запасы углеводородов, диапазоны их взаимозаменяемости (замещение нефти газом) так и, главное, пределы конкурентоспособности с ними остальных (в том числе возобновляемых) энергоресурсов – в основном через дальнейшую электрификацию всех сфер человеческой деятельности. Новый этап развития мировой энергетики с расширением использования газа и электроэнергии в транспортном секторе, дальнейшим развитием межтопливной конкуренции в электроэнергетике и других секторах потребления будет означать дальнейшую диверсификацию топливной корзины и, соответственно, повышение устойчивости глобальной энергетической системы.

Ключевые слова: межтопливная конкуренция; энергетика; энергетические рынки; нефть; газ; уголь; электроэнергетика; атомная энергетика; возобновляемые источники энергии; топливная корзина; диверсификация; топливно-энергетический баланс.

Митрова Татьяна Алексеевна – к.э.н., доцент, зав. Отдела нефтегазового комплекса России и мира ИНЭИ РАН. E-mail: mitrovat@rambler.ru

Галкина Анна Александровна – эксперт Центра изучения мировых энергетических рынков ИНЭИ РАН. E-mail: anne.galkina@gmail.com

Статья поступила в Редакцию в мае 2013 г.

Развитие межтопливной конкуренции в антропогенной энергетике

Вся история антропогенной энергетик¹ связана с развитием межтопливной конкуренции – с поиском возможностей применения новых источников энергии, позволяющих увеличить круг доступных для человечества вариантов удовлетворения своих энергетических нужд.

Первобытный человек располагал только своей мускульной энергией мощностью в среднем 150 Вт² [8]. Овладев огнем, человек смог использовать помимо своей мускульной силы также энергию солнца, накопленную растениями в химической реакции фотосинтеза. Однако это было лишь собирательство, а антропогенная энергетика стала возникать, когда тепло биомассы люди смогли дополнить внешней механической энергией. Сначала это была мускульная сила прирученных животных (тоже питающихся растениями), а затем – энергия текущей воды и ветра. Это открыло второй (помимо биологического – от растений к животным) канал преобразования радиации Солнца в механическую энергию. С третьего тысячелетия до н.э. и до заката Римской империи (IV–V века н.э.) такая энергетика обеспечивала около 6 ГДж на человека в год в земледельческих цивилизациях и до 4,5 ГДж для остального населения Земли, которое выросло за это время в 30 раз [7].

Около трехсот лет назад появился третий канал преобразования солнечной энергии в тепловую и механическую – через использование химической энергии горючих ископаемых (угля, а позднее – нефти и природного газа), запасенной через процесс фотосинтеза миллионы лет назад. Технологии преобразования тепловой энергии в механическую вместе с использованием минерального топлива совершили индустриальную революцию. Недешевый, но неограниченный по тем временам ресурс высококонцентрированной энергии изменил облик мира, вызвав бурный рост населения и беспрецедентное развитие цивилизации (особенно – тяжелой промышленности и транспорта).

Исследования, проведенные в Институте энергетических исследований Российской академии наук (ИНЭИ РАН) [1; 2; 12], позволили восстановить статистику мирового производства энергоресурсов с 1860 г. и выявить этапы развития межтопливной конкуренции последних полутора столетий мировой энергетик.

В течение первого этапа, который длился 70 лет (до начала Великой депрессии 1929–1933 гг.), царившие до конца XIX в. дрова и двигательная сила животных были вытеснены углем и работающими на нем паровыми машинами (рис. 1). К концу XIX в. ископаемое топливо – в первую очередь уголь – стало основным источником энергии индустриального мира. При этом резко ускорился рост спроса на энергоресурсы – на 26% в 1881–1890-х, 30% в 1891–1900-х и 38% в 1901–1910-х годах. Еще более важным событием этого этапа стал технологический прорыв в преобразовании механической энергии в электрическую и в передаче ее на большие расстояния. Разработка и внедрение технологий

¹ Антропогенная энергетика – совокупность средств преобразования энергии в формы, полезные для человеческой жизнедеятельности.

² Сегодня на человека в среднем по миру приходится 3 кВт мощности электродвигателей (в развитых странах – до 20 кВт), и этот показатель быстро растет. Топливные двигатели еще более чем удваивают «силу» каждого жителя Земли.

крупномасштабного производства электроэнергии тепловыми и гидроэлектростанциями, дальних электропередач, а также электрификация всех сфер жизнедеятельности заложили энергетическую базу не только индустриального, но и постиндустриального общества.

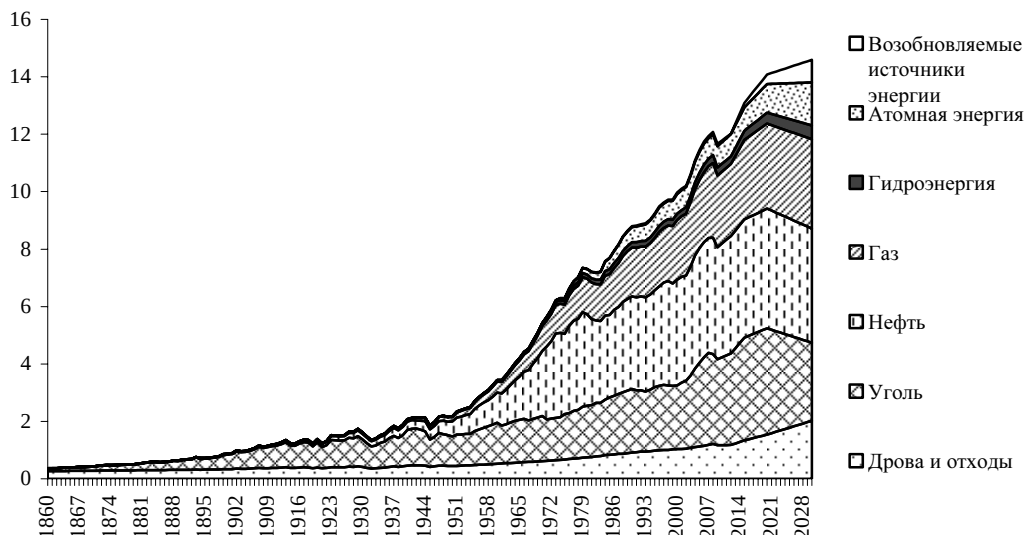


Рис. 1. Динамика мирового производства энергоресурсов, млрд т н.э.

Источник: [12].

Второй этап продолжался 50 лет (1930–1980-е годы) и знаменовал наступление эры нефти – бурное развитие двигателей внутреннего сгорания подорвало доминирование угля в мировом производстве и потреблении энергоресурсов из-за ускоренного роста использования нефтепродуктов. Индустриализация требовала резкого повышения скорости извлечения энергии из природной среды³ и, особенно, качества потребляемой энергии [13]. Нужды освещения, затем автомобильный транспорт и суда (в первую очередь военные) предъявляли все более высокие требования к управляемости и концентрации энергоносителей, создавая благоприятные условия для расширения использования жидкого топлива вместо твердого. Это был подлинный «век моторов» и доминирования нефти – ее доля в мировом производстве энергоресурсов увеличилась с 11 до 47% в 1975 г. (рис. 2). Этот этап завершился около 1980 г. нефтяным кризисом.

Небывалый рост мировых цен на нефть в 1970-х годах усилил интерес исследователей к анализу межтопливной конкуренции, хотя следует отметить определенную фрагментарность этих исследований, в основном сосредоточенных на разработке модельного аппарата. В этот период появились ряд работ, где оцениваются одновременно энергетическая «субмодель» (межтопливной конкуренции) и «супермодель» (межфакторной

³ Количество энергоресурса в единицу времени.

конкуренции), например, классический труд Р. Пиндайка [15]. В первую очередь исследования сосредоточились на оценке межтопливной эластичности замещения, при этом наиболее широко использовалась транслоговая (трансцендентная логарифмическая) функция, предложенная авторами работы [9] в 1971 г.

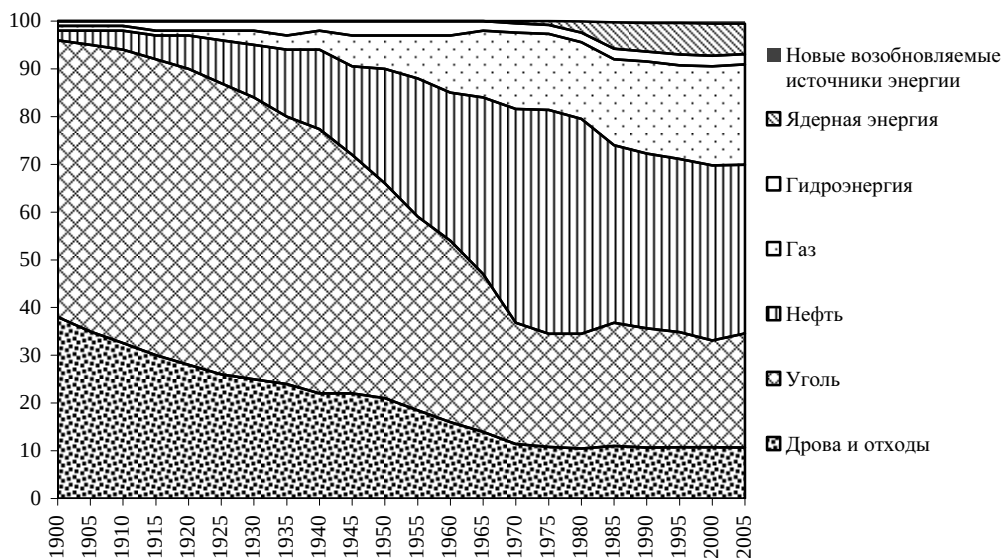


Рис. 2. Структура мирового производства энергоресурсов, %

Источник: [12].

Одна из первых оценок эластичностей замещения, полученная с помощью транслоговой функции, была сделана Д. Ноелом [14], который получил довольно высокие значения перекрестных эластичностей спроса на топливо для электростанций в США. Возможности замещения энергоресурсов (в первую очередь мазута) в американской электроэнергетике, проявившиеся как реакция на энергетические кризисы 1970-х годов, оказались выше ожидаемых. Высокие значения эластичностей топливного замещения получил и Р. Пиндайк [15], исследуя период с 1955 по 1974 гг. Несколько более поздняя работа [11], охватывающая период с 1960 по 1983 гг., демонстрирует в среднем вдвое более низкие значения эластичностей замещения по сравнению с работой [15]. К обобщенным тенденциям в оценках замещения топлив, выявленных в тот период, можно отнести ограниченность возможностей замещения нефти в качестве моторного топлива и рост конкуренции между газом, углем и нетопливными источниками в электроэнергетике.

Третий этап развития мировой энергетики связывают со становлением постиндустриального общества. В этот период быстрая циклическая перестройка производственной структуры мировой энергетики сменилась плавной эволюцией с медленным уменьшением доли нефти в пользу экологически более «чистых» энергоресурсов – природного газа и возобновляемых источников энергии (ВИЭ) (рис. 2).

В отличие от предыдущих, третий этап не имел крупных технологических прорывов в энергетике. Но именно в этот период были получены важные продвижения в ком-

мерциализации широкого спектра нетрадиционных энергетических ресурсов (глубоководные и трудно извлекаемые резервы нефти, разные виды биомассы) и технологий – газотурбинные, ветровые и атомные электростанции, солнечные батареи, аккумуляторы электроэнергии и другие. Эти достижения сильно расширили ресурсную базу энергетики и заметно увеличили взаимозаменяемость энергоносителей. При этом в последнее десятилетие большинство исследований, посвященных межтопливной конкуренции, было сосредоточено на природном газе и его субститутах – видимо, в силу его особой чувствительности к ценовым и прочим параметрам альтернативных видов топлива.

На этом этапе интерес исследователей к анализу межтопливной конкуренции поддерживает экологическая направленность современной энергетической политики большинства государств. Вообще, регулирование и меры государственной энергетической политики способны серьезно повлиять на потребительский выбор и межтопливную конкуренцию как изменением величины затрат (например, путем государственного экологического регулирования и установления цен выбросов CO₂), так и ограничением или стимулированием использования определенных энергоносителей или технологий путем предоставления субсидий (в первую очередь на возобновляемые источники энергии (ВИЭ)) или финансирования технологического развития отдельных видов энергоресурсов. Соответственно популярным направлением современных прикладных исследований в энергетике стали расчеты оптимальных методов государственного воздействия на структуру топливно-энергетического баланса, в том числе ставок налога на выбросы с точки зрения поддержания целевых структур энергетических балансов (см., например: [18; 19; 20]).

Межтопливная конкуренция по секторам потребления энергоресурсов

Межтопливная конкуренция и взаимозаменяемость энергоресурсов существенно различается по секторам потребления. Наиболее чувствительны к изменению цен на замещающие топлива промышленный и транспортный сектора, наименее – домохозяйства и электроэнергетика [17].

Вообще в текущей деятельности возможности переключения с одного энергоносителя на другой обычно весьма ограничены, при этом существуют очень заметные региональные различия. В целом, информация о мультитопливном оборудовании и возможностях оперативного переключения встречается крайне редко. В 2002 г. Международное энергетическое агентство (МЭА) провело специальное исследование и выяснило, что краткосрочно переключаемые мощности у промышленных потребителей и в электроэнергетике составляют в Европе около 12% среднего суточного потребления газа, 9% – в Северной Америке и около 50% – в развитых странах АТР. Вероятно, столь высокий показатель в Азии связан с необходимостью импорта подавляющей части углеводородного топлива и стремлением в связи с этим снизить негативные последствия импортной зависимости.

Основной же интерес представляют долгосрочные возможности межтопливной конкуренции, которые определяет выбор потребителей в рамках принимаемых ими инвестиционных решений, таких как выбор типа оборудования для электростанции, установка бойлеров и прочего оборудования на 20–30 лет (типовой срок эксплуатации). Потребители должны сопоставить затраты по различным технологиям, принимая во внимание прогно-

зируемые цены конкурирующих видов топлива, стоимость оборудования, операционные затраты, регуляционные ограничения и риски (включая экологические требования), а также рыночные риски (включая будущие изменения цен на топливо и надежность топливоснабжения).

Транспорт

В настоящее время транспортный сектор представляется, пожалуй, наиболее интересным полем для межтопливной конкуренции. С одной стороны, на транспорте во всем мире полностью доминируют нефтепродукты, причем за последние 35 лет их доля в данном секторе практически не изменилась (рис. 3). Особую озабоченность вызывает высокая зависимость от дорогой нефти в данном секторе. При этом основной прирост потребления нефти в ближайшей перспективе будет происходить именно для нужд транспорта в развивающихся странах, стремительно набирающих политический вес на мировой арене. Во многом их активная международная политика обусловлена острой необходимостью обеспечить бесперебойные и доступные по цене поставки нефти на свои рынки.

Стремясь снизить остроту этой проблемы, в последние годы правительства большинства развитых и ряда развивающихся стран активно поддерживают использование альтернативных видов моторного топлива, а высокая цена нефти делает весьма привлекательным развитие этих альтернатив.

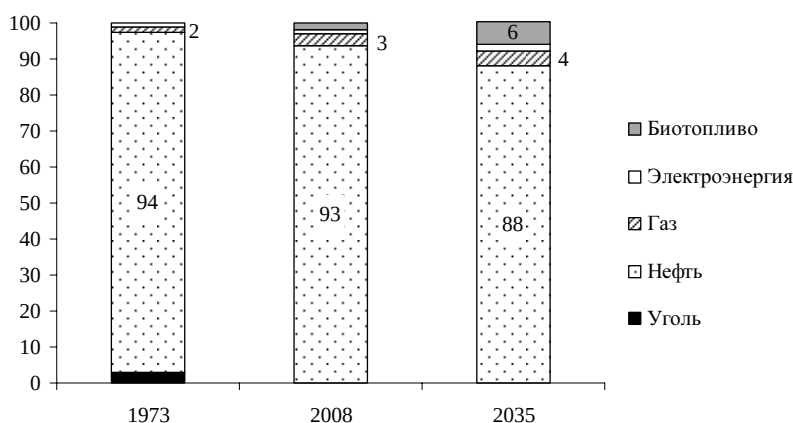


Рис. 3. Эволюция структуры мирового энергопотребления на транспорте, %

Источник: [21].

Природный газ (сжатый, сжиженный, синтетическое жидкое топливо, получаемое из газа) имеет пока небольшой вес в этом секторе, однако его доля постоянно увеличивается и к 2035 г. превысит 4%, и это – не предел. Ныне на газе работает лишь 1% мирового автопарка, но увеличение его роли продвигают специальные государственные программы, в частности, в странах развивающейся Азии, Северной и Южной Америки. Особенно привлекательно выглядит использование газа на общественном транспор-

те в мегаполисах. Масштаб нового спроса в транспортном секторе зависит от интенсивности проникновения на рынок технологий автотранспорта на природном газе.

Автотранспорт, использующий природный газ в качестве топлива, заправляется обычно сжиженным (сжатым) природным газом (СПГ) или СЛГ. Его конструкция и средний уровень потребления топлива схожи с аналогичными характеристиками традиционных автомобилей, отличаются система впрыска топлива и размер топливного бака. Эти изменения отражаются в более высокой цене такого автотранспорта. Соответственно период окупаемости для газобаллонного транспорта также выше (около 3–5 лет). При этом топливные затраты для автотранспорта на природном газе часто составляют меньшую сумму, чем для традиционного автотранспорта. Вышеназванные факторы являются ключевыми критериями при принятии потенциальными покупателями решения о покупке автотранспорта на природном газе.

Однако для частных лиц в большинстве регионов мира ситуация осложняется отсутствием разветвленной газозаправочной сети. Таким образом, часто получается замкнутый круг – бизнес не строит заправки, так как нет спроса, а частные лица не переоборудуют автомобили, так как нет заправочной сети. Та же причина удерживает автозаводы от производства автомобилей, сразу оборудованных для газомоторного топлива. Фактически единственным регионом, где газовое топливо на транспорте относительно развито и поддерживается сравнительно высокий коэффициент загрузки заправочных станций, является Латинская Америка. В других регионах успешное внедрение проходит практически исключительно в рамках программ по переоборудованию муниципального транспорта.

Перспективы расширения использования газа на транспорте во многом зависят от государственной политики. Мировая практика показывает, что наиболее продуктивным является перевод на газ муниципального транспорта. В этом случае нет необходимости инвестиций в широкую заправочную сеть с неопределенным режимом окупаемости, а также частично решаются экологические проблемы мегаполисов. Еще одним стимулом является цена газа, которая, как ожидается, будет ниже, чем цены бензина и дизеля.

Особый интерес представляют технологии производства синтетического жидкого топлива (СЖТ) из газа, которое по своим характеристикам близко к сверхчистому дизелю, не требует никакого переоборудования автомобилей, может распространяться через действующую инфраструктуру автозаправок и при этом в перспективе сможет вновь связать цены на нефть и на газ через межтопливную конкуренцию не в электроэнергетике, как это было раньше, а именно в транспортном секторе. Пока внедрение этих технологий тормозилось высокой стоимостью подобных проектов, однако сохранение цен на нефть на уровне около 100 долл./барр. делает их вполне привлекательными.

Большие надежды связаны также с перспективами расширения использования электроэнергии на транспорте. Электрокары и гибридные двигатели, а также автомобили на топливных элементах разрабатываются всеми автомобильными компаниями мира. Они еще слабо конкурируют с традиционными двигателями внутреннего сгорания (по динамическим характеристикам, пробегу на одной заправке и т.д.), но пользуются поддержкой правительств и возрастающей популярностью у населения.

Активно продвигается и использование биотоплива, особенно в Северной и Южной Америке. Уже сегодня оно обеспечивает 2% нужд транспорта, а в 2035 г. его доля достигнет 6%.

Таким образом, НТП постепенно разрушает монополию нефтепродуктов на транспорте, замещая их другими разнообразными источниками, которые обеспечивают одновременно и другие сектора потребления, тем самым связывая всю энергетику едиными условиями конкуренции. Хотя нефть будет по-прежнему доминировать в транспортном секторе до 2035 г., в приросте его потребления нефтепродукты будут существенно ограничены альтернативными энергоресурсами, что сделает спрос на нефть более эластичным по цене.

Промышленность

Сохраняющийся тренд в пользу неэнергоемких процессов, который является результатом многолетних инвестиций в энергоэффективность промышленного оборудования и процессов, а также сдвиг к производству менее энергоемкой продукции снижают роль этого сектора в мировом энергопотреблении. По мнению Дж. Стейнбакса [16], основной причиной замещения топлив в промышленности является улучшение технической эффективности капитального оборудования и производственных процессов. Структура промышленного энергопотребления в целом довольно диверсифицирована, хотя и сохраняется высокая зависимость отдельных технологических процессов от определенного энергоносителя.

Невзирая на высокие цены, нефтепродукты все еще составляют довольно заметную долю в мировом промышленном энергопотреблении – 14%, однако она неизбежно будет снижаться (рис. 4).

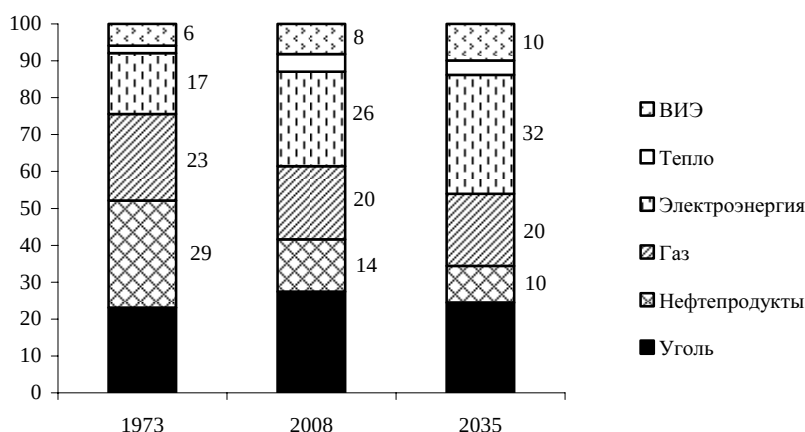


Рис. 4. Структура мирового энергопотребления в промышленности, %

Источник: [21].

Уголь остается основным источником энергии, обеспечивающим промышленный рост в развивающихся странах, и потому демонстрирует наиболее высокие темпы роста, но в перспективе его роль неизбежно будет ограничена регулированием в отношении выбросов парниковых газов.

В 2008 г. уголь и нефть представляли более 40% энергетического спроса в секторе, а также были причиной 80% прямых выбросов CO₂ в промышленности. Доля угля и нефти в промышленном спросе на энергоресурсы будет со временем сокращаться, но останется сравнительно высокой⁴.

В большинстве стран более строгое экологическое регулирование будет благоприятствовать росту потребления природного газа в промышленном секторе. Газ имеет ряд конкурентных преимуществ во многих технологических процессах (в химической, пищевой, строительной и металлургической отраслях), причем возможности его замещения в промышленности весьма ограничены [4]. Если мелкие и средние предприятия в некоторых случаях могут частично переключаться на биотопливо, то для крупной промышленности обычно это не представляется возможным: например, в США для производства азотных и фосфатных удобрений, гипса, цемента, извести, алюминия, продуктов нефтепереработки, фармацевтических препаратов возможности переключения с газа на альтернативное топливо находятся в пределах 2–15%. Более гибкими в потреблении разных энергоносителей являются производство стекла, бумаги, текстильных изделий (замещение до 30%)⁵.

Электроэнергия – наиболее универсальный энергоноситель – последовательно наращивает свою долю в промышленном секторе и замещает все остальные виды топлива в силу простоты и удобства использования. Именно через электроэнергетику межтопливная конкуренция усиливает свои позиции в промышленности и снижает эксклюзивность отдельных энергоносителей в определенных технологических процессах.

Определяющим выбор этой категории потребителей является фактор соотношения цен между конкурирующими видами топлива. Другие критерии в основном варьируются в зависимости от подотрасли и месторасположения производства.

Бытовой и коммерческий сектор

Как и в промышленности, основной тренд усиления межтопливной конкуренции в бытовом секторе идет за счет расширения применения электроэнергии для всех процессов (рис. 5), поскольку потребители предпочитают иметь один наиболее удобный источник энергии для всех нужд. Потребление электроэнергии в данном секторе растет высокими темпами за счет вытеснения других источников. Например, уже на сегодняшний день из 113 млн жилищных единиц США⁶ около половины отапливаются природным газом, еще половина – электроэнергией. Примечательно, что за 5 последних лет количество жилищных единиц, отапливаемых с помощью электричества, увеличилось на 10,4 млн, или на 21,8%. При этом средняя стоимость электроэнергии в США более чем вдвое превышает цену природного газа, тем не менее, именно электроэнергия становится выбором потребителей.

Помимо электроэнергии, основная конкуренция в секторе происходит между газом, светлыми нефтепродуктами для отопления (которые при этом являются более дорогими и

⁴ По оценкам МЭА [21] (газовый сценарий 2011 г.), она составит в 2020 г. 37% и даже в 2035 г. – 30%.

⁵ Number of Establishments with Capability to Switch Natural Gas to Alternative Energy Sources. Manufacturing Energy Consumption Survey 2006. Energy Information Administration, Office of Energy Markets and End Use, Energy Consumption Division, June 2010.

⁶ Квартыры и дома, которые не являются для собственников вторым или сезонным жильем.

влекут за собой более высокие затраты по установке и эксплуатации соответствующего оборудования) и углем, который менее экологичен и не всегда удобен для использования. За последние 35 лет доля нефтепродуктов в бытовом и коммерческом секторах сократилась вдвое, а роль газа, напротив, неуклонно возрастает, и применение технологий газовых микро-ТЭЦ в регионах с развитой газораспределительной инфраструктурой должно существенно ускорить этот процесс.

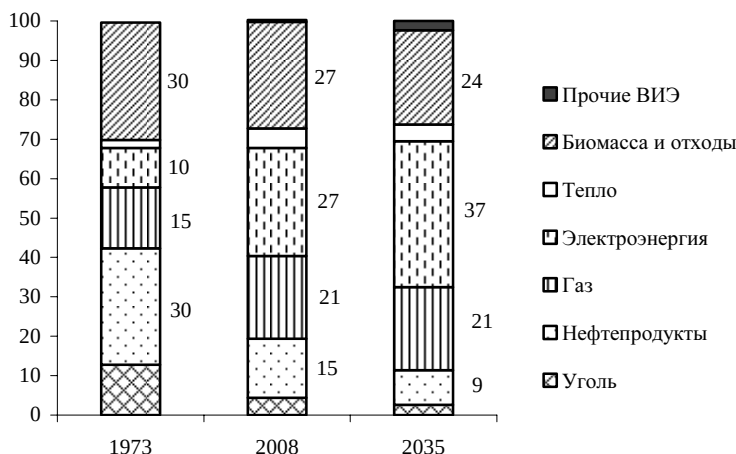


Рис. 5. Структура мирового энергопотребления бытовым и коммерческим секторами, %

Источник: [21].

Активно увеличивается также использование возобновляемых источников – в первую очередь фотоэлементов и тепловых насосов (взамен дров и отходов, традиционно обеспечивающих нужды отопления и пищеприготовления в развивающихся странах).

Вообще именно бытовой и коммерческий сектора наиболее активны в использовании децентрализованных источников электроэнергии и тепла⁷. Размещая эти установки прямо у себя, потребители могут добиться чрезвычайно эффективного использования топлива – до 90% от потенциальной энергии. Многие из этих технологий позволяют владельцу не только обеспечивать себя электроэнергией, горячей водой и теплом, но и продавать излишки электроэнергии в сеть, зарабатывая на этом. Развитие «умных сетей» и накопителей электроэнергии в состоянии в перспективе придать дополнительный импульс развития ВИЭ в данном секторе.

⁷ Децентрализованные источники включают прежде всего средства альтернативной энергетики (солнечные батареи, ветровые генераторы, тепловые насосы, топливные элементы). Сюда же относятся новые когенерационные – обеспечивающие совместную выработку электрической и тепловой энергии – установки малой и средней мощности, работающие на природном газе.

Электроэнергетика

Именно электроэнергетика, крупнейший из секторов потребления, является основным полем конкуренции практически всех используемых энергоносителей и во многом определяет доминирующий вид топлива на каждом этапе развития энергетики. За последние 35 лет структура потребления в электроэнергетическом секторе заметно изменилась (рис. 6): на смену доминированию мазута пришел уголь (за счет быстрого расширения мощностей в развивающихся странах, где уголь – наиболее доступное местное топливо), газ вдвое расширил свою долю за счет высокой эффективности и удобства строительства и использования, более чем в 4 раза увеличилась доля атомной энергетики.

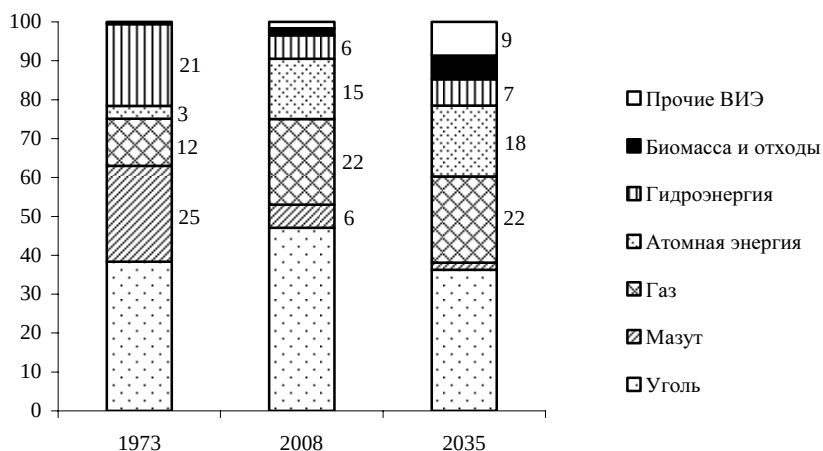


Рис. 6. Структура мирового энергопотребления в электроэнергетике, %

Источник: [21].

Основным принципом выбора типа станции при принятии решения о новом строительстве обычно являются суммарные издержки генерации, которые учитывают капитальные, операционные и топливные затраты электростанции. Важную роль в этом имеют соотношения цен на конкурирующие виды топлива, а также эффективность оборудования станции, уровень его использования, срок службы электростанции, продолжительность строительства, стоимость ее вывода из эксплуатации, и платежи за выбросы CO_2 . Именно «цена» CO_2 и государственная политика в отношении субсидирования или, напротив, запретов на определенные виды генерации (например – мораторий на эксплуатацию АЭС) – те факторы, которые во многом будут определять топливную корзину в электроэнергетике.

Ключевыми факторами для генераторов при принятии решения по инвестированию в те или иные установки являются в первую очередь топливная составляющая и цена CO_2 . Предположения относительно будущих цен топлива оказывают большое влияние на инвестиционные решения по новым мощностям в электрогенерации. Эксплуатационные же решения, напротив, в большей степени подвержены воздействию актуальных краткосроч-

ных цен на топливо. С этой точки зрения наиболее показателен пример последних двух лет: затоваривание американского рынка сланцевым газом и падение цен привело к существенным изменениям в структуре производства электроэнергии в США – газ стал стремительно увеличивать свою долю в генерации (рис. 7), вытесняя уголь.

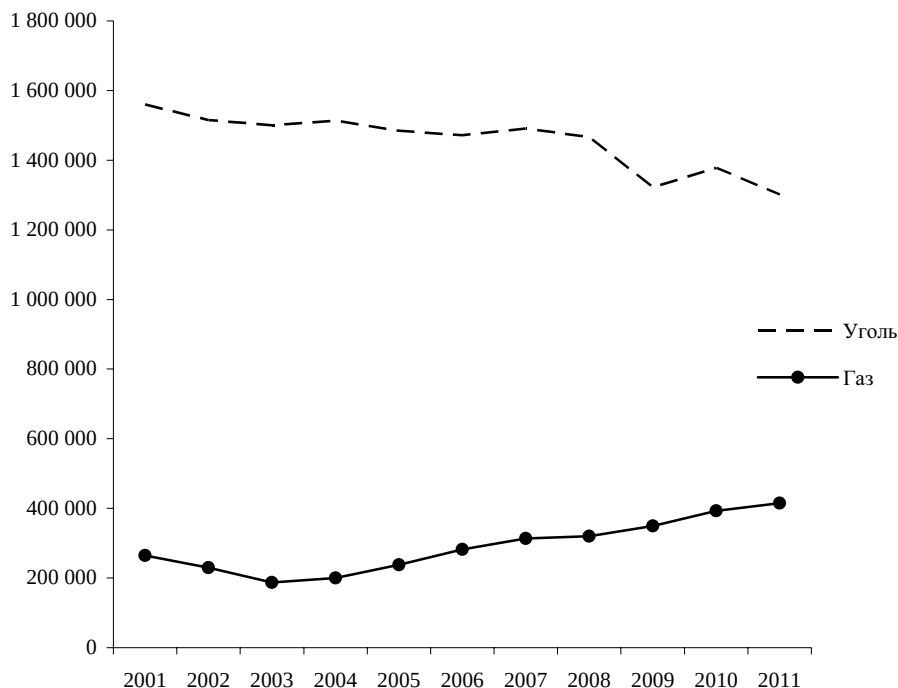


Рис. 7. Выработка электроэнергии на газовых и угольных станциях в США в 2001–2011 гг., тыс. МВт·ч

Источник: US Energy Information Administration.

В результате этой межтопливной конкуренции высвободились существенные объемы угля, которые были перенаправлены из США в Европу по вполне конкурентным ценам. Из всего объема угля, доставляемого на европейский континент в 2011 г., 17% направлялось из США, в то время как в 2010 г. – 13% и в двух предыдущих – 12%. Также значительно выросли импортные поставки и из Колумбии. Если в 2008 г. этот показатель составлял лишь 11%, то в 2011 г. он вырос до рекордных 22% от совокупного объема импорта в ЕС. По сравнению с 2010 г., в 2011 г. доля импорта угля из США в Германии, Великобритании, Италии, Франции и Голландии возросла на 37%. Что же касается I полугодия 2012 г., то Германия, Италия и Голландия импортировали из США соответственно больше на 37, 83 и 86%, чем за аналогичный период 2011 г.

Цены на уголь в Европе упали с 87 евро за тонну CIF ARA в 2011 г. до 73 евро за тонну в 2012 г. При этом относительно высокие цены на газ в Европе по сравнению с уг-

лем сделали его использование в европейской электроэнергетике убыточным, стимулируя активное замещение газовой генерации угольной. Конечный результат оказался впечатляющим – уголь начал захватывать позиции в европейской генерации (рис. 8).

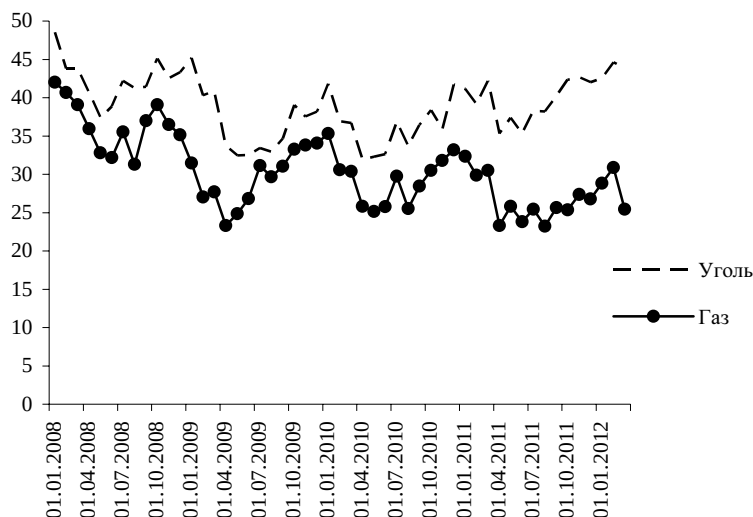


Рис. 8. Выработка электроэнергии по видам генерации в 16 странах Европы⁸, млрд кВт·ч в месяц

Источник: Entso-E.

Новые эффективные газовые станции в Северо-Западной Европе закрываются, взамен них нагружаются старые угольные. Конечно, это радикально противоречит всем экологическим целям ЕС, однако в данном случае верх берет чисто экономический расчет: при нынешних ценах газ слишком дорог для использования в электроэнергетике, а цены CO₂, которые должны были бы корректировать эту ситуацию, упали в последний год до исторического минимума (рис. 9).

Экономика последнего времени недвусмысленно показывает, что прибыльность газовой генерации в Европе неуклонно падает, а угольной – растет. Производство электроэнергии на основе газа в Германии в 2012 г. оказалось и вовсе убыточно – к середине 2012 г. разница между «чистым» дарк спредом и «чистым» спарк спредом⁹ составляла около 15 евро/МВт·ч, что вело к отказу генераторов от загрузки газовых электростанций. В 2011–2012 гг. уровень их загрузки составил лишь 30% по сравнению со средними исто-

⁸ Австрия, Бельгия, Венгрия, Германия, Греция, Дания, Франция, Испания, Италия, Люксембург, Нидерланды, Польша, Португалия, Словакия, Чехия, Швейцария.

⁹ «Чистый» дарк спред – разница между ценой продажи электроэнергии и топливной составляющей угольной генерации с учетом платы за выбросы CO₂.

«Чистый» спарк спред – разница между ценой продажи электроэнергии и топливной газовой генерации с учетом платы за выбросы CO₂.

рическими значениями 55–60%. В такой ситуации выбор генерирующих компаний в пользу угля неизбежен.

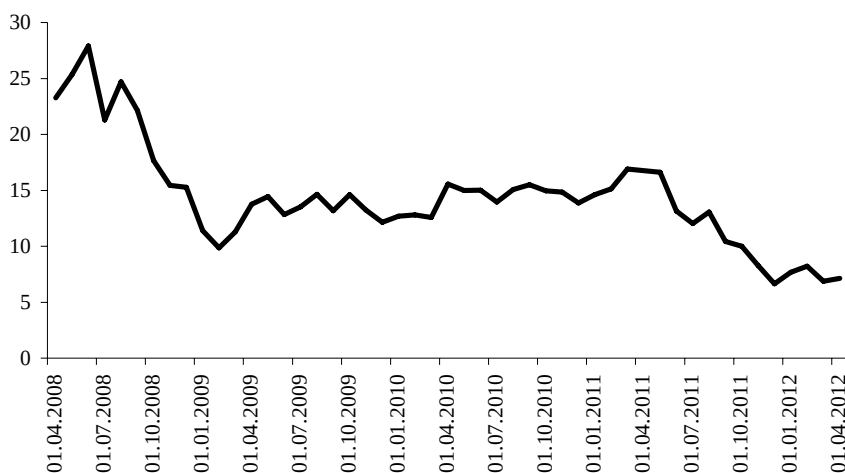


Рис. 9. Спотовая цена CO₂ в Европе в 2008–2012 гг., евро/т CO₂

Источник: Bloomberg.

Значительное внимание при выборе вида топлива инвесторы уделяют также сопоставлению с другими компонентами издержек генерации (помимо топливной составляющей и CO₂), в частности, с капитальными затратами, сроками строительства, эффективностью и операционной гибкостью. Последний фактор играет все возрастающую роль в странах ОЭСР, где спрос на электроэнергию увеличивается медленно, пиковый его уровень вырос, экономическое восстановление является сложно предсказуемым, и в энергобалансе появились непостоянные по своему характеру выработки ВИЭ.

В России сравнение затрат на электрогенерацию по регионам мира с учетом различных цен на газ и конкурирующие технологии для целей долгосрочного прогнозирования развития мировой энергетики реализовано ИНЭИ РАН в модельно-информационном комплексе SCANNER [3; 5].

Перспективы дальнейшего развития межтопливной конкуренции и диверсификация топливной корзины

В долгосрочной перспективе, как показано на рис. 1, будет усиливаться сложившаяся в предыдущие 25 лет тенденция диверсификации мирового энергетического баланса, т.е. сближения долей основных энергоресурсов в производстве первичной энергии. Уменьшение доли нефти и угля будут компенсировать природный газ, атомная и разные виды возобновляемой энергии. Хотя радикального изменения соотношения между видами топлива в ближайшие несколько десятилетий сложно ожидать ввиду большой инерционности энергетического сектора, тем не менее, даже в глобальном масштабе доля «эксклюзивного»

углеводородного сырья в общем производстве энергии при всех условиях будет постепенно уменьшаться при увеличении доли широко распространенных неископаемых источников энергии.

Особенно характерно с этой точки зрения поведение развитых стран, которые в первую очередь наращивают производство ВИЭ и атомной энергии, в меньшей степени – потребление газа, и уменьшают при этом потребление нефти. Доля производства электроэнергии на базе ВИЭ (без учета гидроэнергетики) увеличится более чем в 5 раз – с 3% в 2008 г. до 16% в 2035 г. Этот рост будет происходить за счет замещения ископаемого топлива, в первую очередь в наиболее уязвимых по растущей импортной зависимости странах Европы, в США, Китае и Индии. При этом в зависимости от региона к 2035 г. все возобновляемые источники, включая гидроэнергетику, будут обеспечивать от четверти до трети производства электроэнергии, а в отдельных странах – заметно превысят этот показатель, в частности, в энергодефицитном ЕС (более 40%).

В целом, в перспективе должна существенно вырасти роль «местных источников генерации», не зависящих от импорта углеводородов – ВИЭ, атомная и угольная энергетика, которые в сумме обеспечат 76% мирового производства электроэнергии, а в отдельных регионах доля «самообеспеченности» будет и выше.

Перспективы межтопливной конкуренции во многом будут зависеть от того, как повысится эффективность энергетики по всем цепочкам преобразования энергии от природных источников до потребителей включительно. На предстоящие 3-4 десятилетия энергетики готовы компетентно обсуждать этот аспект и давать по нему количественные оценки. Основой для этого служат прогнозы совершенствования имеющихся и освоения новых технологий, а также уже полученные результаты научных исследований и разработок в энергетике и смежных областях.

Компетентный прогноз ожидаемого состава и масштабов применения новых энергетических технологий в период до 2050 г. дало МЭА по результатам выполненных в 2007–2010 гг. исследований с участием 5000 специалистов из 42 стран и почти 50 энергокомпаний [10]. Приоритетными МЭА назвало 8 классов ключевых технологий производства энергии (включают более 120 новых технологий) и 9 классов (почти 170 новых технологий) использования энергии. Для каждого класса технологий подготовлены достаточно подробные «дорожные карты» их включения в энергетiku. В табл. 1 показаны состав выделенных классов технологий и оценки затрат на необходимые для их освоения исследования и разработки.

Беспрецедентный взлет цен топлива накануне финансово-экономического кризиса в очередной раз актуализировал столетнюю дискуссию о том, способны ли природные ресурсы Земли обеспечить растущие потребности цивилизации в энергии. Уже сама длительность дискуссии говорит о сложности ответа. С позиций физики и геологии положительный ответ не вызывает сомнений (см. табл. 2). Видно, что за последние 150 лет использовано только 8% традиционных (доступных применяемым технологиям) ресурсов органического топлива и лишь 2% его общих запасов на Земле, включая нетрадиционные ресурсы (требующие применения новых технологий). Следовательно, даже удваивая энергопотребление каждые следующие 50 лет, человечество за два века не использует и половины всех ресурсов органического топлива.

Таблица 1.

**Новые энергетические технологии и затраты
на их исследования и разработки, трлн долл. США 2007 г.**

Ключевые направления НТП в энергетике	Затраты на исследования и разработки	Ключевые направления НТП в энергопотреблении	Затраты на исследования и разработки
Производство электроэнергии	5,9–7,6	Сооружения, здания Тепловые насосы	0,32–0,42 0,07–0,12
Атомные электростанции	0,6–0,75	Солнечное отопление	0,25–0,3
Ветровые электростанции	0,6–0,7	Транспорт	8,3–12,4
Угольные установки с суперкритическими параметрами пара	0,35–0,4	Энергоэффективные транспортные средства	н/д
Парогазовые электростанции с газификацией угля	0,35–0,4	Биотопливо второго поколения	0,3–0,5
Парогазовые электростанции с газификацией биомассы	0,1–0,13	Электрический и подключаемый к сети транспорт	6–9
Преобразователи солнечной энергии в электрическую	0,2–0,24	Транспорт на водородных топливных элементах	2–3
Концентраторы солнечной энергии	0,3–0,35	Промышленность	1,4–1,7
Улавливание и захоронение CO ₂ на тепловых электростанциях	1,9–2,2	Улавливание и захоронение CO ₂ . Производство водорода, синтетического топлива	1,4–1,7
Интеллектуальные энергосистемы	2,0–3,0	Итого	17,1–23,7

Источник: [10].

Таким образом, угрозы общей нехватки энергоресурсов на Земле нет, но существует реальность исчерпания запасов экономически приемлемой нефти, т.е. проблема перемещается из области геологии в сферы готовности новых технологий, их экономической приемлемости и инвестиционного задела. В долгосрочной перспективе важную роль в снижении напряженности на нефтяном рынке будет играть расширение добычи из нетрадиционных источников (сланцевая нефть и газ, нефть битуминозных песчаников, газовый конденсат и пр.), а также увеличение предложения на рынке моторного топлива за счет производства синтетического жидкого топлива (СЖТ) из угля и газа и развитие использования биотоплива и природного газа в транспортном секторе.

Таблица 2.

Ресурсы органического топлива и ядерного горючего, млрд т н.э.

Энергоресурсы	Нефть и конденсат	Естественный газ	Газовые гидраты	Уголь	Итого органическое топливо	Уран и др.	Реакторы-размножители	Всего
Извлеченные	146	66		159	371	27		398
Доказанные	150	141		606	897	57	3390	4344
Возможные	145	279		2800	3224	203	8926	15577
Итого традиционные*	441	486	0	3565	4494	287	1540	20319
Использовано, %	33	14		4	8	9		2
Нетрадиционные**	525	850	18650		20025	150	8900	29075
Всего ресурсы	966	1336	18650	3565	24519	437	4440	49396
Использовано, %	15	5		4	2	6		1

* Ресурсы, доступные по приемлемой цене при использовании современных технологий.

** Ресурсы, освоение которых будет экономически приемлемо только на новых технологиях.

Источники: US Energy Information Administration, ИНЭИ РАН.

По прогнозу ИНЭИ РАН – РЭА 2012 [6], нетрадиционные ресурсы и новые технологии добычи существенно расширят состав источников и диверсифицируют объемы экономически приемлемых запасов нефти и газа, заметно смягчая их дефицитность по регионам (странам) и миру в целом. Однако сравнительно большая доступность углеводородов не остановит (в силу неизбежного существенного роста затрат на их добычу) тенденцию диверсификации топливно-энергетического баланса и усиления межтопливной конкуренции.

Заключение

Из приведенного анализа структуры энергопотребления по секторам следует вывод: новые технологии и национальные энергополитики поддерживают сохранение исторического тренда на усиление межтопливной конкуренции и диверсификацию топливной корзины во всех секторах энергопотребления.

Наряду с ускоренным развитием неуглеродной энергетики (ВИЭ и, возможно, атомная энергетика), важной особенностью прогнозного периода станет широкое освоение нетрадиционных ресурсов углеводородов. В перспективе доступные нетрадиционные энергоресурсы и новые технологии способны существенно увеличить как экономически приемлемые запасы углеводородов, так и диапазоны их взаимозаменяемости (замещение нефти газом) и, главное, пределы конкурентоспособности с ними остальных (в том числе возобновляемых) энергоресурсов – в основном через дальнейшую электрификацию всех сфер человеческой деятельности.

* *
*

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Макаров А.А. Мировая энергетика и Евразийское энергетическое пространство. М.: Энергоатомиздат, 1998.
2. Макаров А.А. Энергетика: взаимосвязи и закономерности // Энергия: экономика, техника, экология. 1986. № 5.
3. Макаров А., Митрова Т., Кулагин В. SCANNER: отслеживая энергетические горизонты // ТЭК. Стратегии развития. 2011. № 1. Январь-февраль.
4. Митрова Т. Эволюция рынков природного газа. Основные тенденции. LAP LAMBERT Academic Publishing, 2011.
5. Модельно-информационный комплекс SCANNER / под ред. А.А. Макарова. М.: ИНЭИ РАН, 2011.
6. Прогноз развития энергетики мира и России до 2035 г. / под ред. А.А. Макарова, Л.М. Григорьева. М.: ИНЭИ РАН, 2012.
7. Сливко В.М. Энергетические аспекты развития древних цивилизаций. М.: Газойл пресс, 1999.
8. Энергетика и геополитика / под ред. В.В. Костюка, А.А. Макарова. М.: Наука, 2011.
9. Christensen L.R., Jorgenson D.W., Lau L.J. Transcendental Logarithmic Production Frontiers // Review of Economics and Statistics. 1971. Vol. 55.
10. Energy Technology Perspectives. Scenarios & Strategies to 2050. Paris: International Energy Agency, 2008, 2010, 2012.
11. Estrada J., Fugleberg O. Price Elasticities of Natural Gas Demand in France and West Germany // The Energy Journal, International Association for Energy Economics. 1989. Vol. 10(3).
12. Makarov A., Makarov A. Laws of Power Industry Development: Elusory Essence // Thermal Engineering. 2010. Vol. 57. № 13.
13. Makarov A.A. Quality of Energy: Way to the Global Problems. CEES, Princeton University, Proceedings of Summer School, 1990.
14. Noel D. Interfuel Substitution Possibilities: Short-term Prospects // Applied Energy. 1978. Vol. 4. № 4.
15. Pindyck R.S. Interfuel Substitution and the Industrial Demand for Energy: An International Comparison // The Review of Economics and Statistics. 1979. Vol. 61. № 2.
16. Steinbuks J. Interfuel Substitution and Energy Use in the UK Manufacturing Sector: Cambridge Working Paper in Economics 1032.
17. Stern D.I. Interfuel Substitution: A Meta-Analysis: MPRA Paper № 13734. 2009.
18. Tahvonen O. Fossil Fuels, Stock Externalities, and Backstop Technology // Canadian Journal of Economics. 1997. 30.
19. Ulph A., Ulph D. The Optimal Time Path of a Carbon Tax: Oxford Economic Papers. № 46. 1994.
20. Withagen C. Pollution and Exhaustibility of Fossil Fuels // Resource and Energy Economics. 1994. № 16.
21. World Energy Outlook. Paris: International Energy Agency, 2010, 2011, 2012.

Inter-fuel Competition

Mitrova Tatyana¹, Galkina Anna²

¹ Institute for Energy Research Russian Academy of Sciences
31, korp. 2, Nagornaja ul., Moscow, 117186, Russian Federation.
E-mail: mitrovat@rambler.ru

² Institute for Energy Research Russian Academy of Sciences
31, korp. 2, Nagornaja ul., Moscow, 117186, Russian Federation.
E-mail: anne.galkina@gmail.com

Analysis of factors determining the demand for energy resources, is a traditional sphere of applied economic research. The whole history of anthropogenic energy development is associated with the expansion of inter-fuel competition – with the implementation of the new energy sources, expanding the range of options available to mankind for satisfying its energy needs.

In recent decades, advances in the commercialization of a wide range of unconventional energy resources (deep and hard recoverable reserves of oil, different types of unconventional gas and biomass) and technologies – gas turbine, wind and nuclear power, solar panels, batteries, electricity, and others – not only greatly increase the resources of energy, but also expanded significantly the field of – fuel interchangeability.

Analysis of the structure of energy consumption by sector lead to the following conclusion: new technologies and national energy policies support the historical trend of the increasing inter-fuel competition and diversification of fuel mix in all consuming sectors. In the future, the available unconventional energy sources and new technologies can significantly increase both economically viable hydrocarbon reserves, their range of interchangeability (replacing oil by gas) and, most importantly, the limits of competitiveness with the other energy sources (including renewable) – mainly through the further electrification of all spheres of human activities. A new stage of the global energy development will see increased use of gas and electricity in the transportation sector, the further development of inter-fuel competition in the electricity generation and other sectors of consumption. It will mean increased diversification of the fuel basket and therefore sustainability of the global energy consumption.

Key words: inter-fuel competition; energy; energy markets; oil; gas; coal; electricity; nuclear; renewable; fuel mix; diversification; fuel and energy balance.

* *
*

References

- Makarov A.A. (1998) *Mirovaja jenergetika i Evrazijskoe jenergeticheskoe prostranstvo* [World Energy and Eurasian Energy Space], Moscow: Energoatomizdat.
- Makarov A.A. (1986) Jenergetika: vzaimosvjazi i zakonomernosti [Energy: Relationships and Patterns]. *Jenergija: jekonomika, tehnika, jekologija*, no 5.
- Makarov A., Mitrova T., Kulagin V. (2011) SCANNER: otslezhivaja jenergeticheskie gorizonty [SCANNER: Tracking Energy Horizons]. *TjeK. Strategii razvitija*, no 1, janvar'-fevral'.
- Mitrova T. (2011) *Jevoljucija rynkov prirodnoho gaza. Osnovnye tendencii* [The Evolution of the Natural Gas Markets. Major Trends], LAP LAMBERT Academic Publishing.
- Makarov A.A. (ed.) (2011) *Model'no-informacionnyj kompleks SCANNER* [Model-information Complex SCANNER], Moscow: INJeI RAN.
- Makarov A.A., Grigoryev L.M. (eds.) (2012) *Prognoz razvitija jenergetiki mira i Rossii do 2035 g.* [Forecast for Energy: World and Russia until 2035], Moscow: INJeI RAN.
- Slivko V.M. (1999) *Jenergeticheskie aspekty razvitija drevnih civilizacij* [Energy Aspects of Ancient Civilizations], Moscow: Gazojl press.
- Kostjuk V.V., Makarov A.A. (eds.) (2011) *Jenergetika i geopolitika* [Energy and Geopolitics], Moscow: Nauka.
- Christensen L.R., Jorgenson D.W., Lau L.J. (1971) Transcendental Logarithmic Production Frontiers. *Review of Economics and Statistics*, vol. 55.
- Energy Technology Perspectives (2008, 2010, 2012) *Scenarios & Strategies to 2050*, Paris: International Energy Agency.
- Estrada J., Fugleberg O. (1989) Price Elasticities of Natural Gas Demand in France and West Germany. *The Energy Journal, International Association for Energy Economics*, vol. 10(3).
- International Energy Agency (2010, 2011, 2012) *World Energy Outlook*, Paris: International Energy Agency.
- Makarov A., Makarov A. (2010) Laws of Power Industry Development: Elusory Essence. *Thermal Engineering*, vol. 57, no 13.
- Makarov A.A. (1990) *Quality of Energy: Way to the Global Problems*. CEES, Princeton University, Proceedings of Summer School.
- Noel D. (1978) Interfuel Substitution Possibilities: Short-term Prospects. *Applied Energy*, vol. 4, no 4.
- Pindyck R.S. (1979) Interfuel Substitution and the Industrial Demand for Energy: An International Comparison. *The Review of Economics and Statistics*, vol. 61, no 2.
- Steinbuks J. (2010) *Interfuel Substitution and Energy Use in the UK Manufacturing Sector*. Cambridge Working Paper in Economics 1032.
- Stern D.I. (2009) *Interfuel Substitution: A Meta-Analysis*. MPRA Paper no 13734.
- Tahvonen O. (1997) Fossil Fuels, Stock Externalities, and Backstop Technology. *Canadian Journal of Economics*, 30.
- Ulph A., Ulph D. (1994) *The Optimal Time Path of a Carbon Tax*. Oxford Economic Papers, no 46.
- Withagen C. (1994) Pollution and Exhaustibility of Fossil Fuels. *Resource and Energy Economics*, no 16.