

Энергетические системы и энергоснабжение с учетом защиты окружающей среды

*Энергетические ресурсы — не проблема,
проблема — отходы энергетики*

В. Хефеле

Идущая вокруг будущего энергоснабжения дискуссия характеризуется крайностями и противоречиями. В данной статье можно сделать лишь общий набросок различных противоречивых позиций, альтернатив, взаимоисключающих утверждений. По существу они отражают сложный характер энергетических систем и их многочисленных взаимосвязей, а также тот факт, что некоторые обозреватели выпячивают отдельные их аспекты, в то время как другие, вызывающие не меньшее беспокойство, вообще игнорируются. В любом случае нужно понимать взаимосвязь различных аспектов. Особо это важно в области энергетической политики.

Аргументы и точки зрения

Сравнение типичных позиций и мнений по современной энергетике может оказаться очень информативным. Обнаруживается, например, потребность в увеличении использования угля, что логично для стран, располагающих экономически привлекательными месторождениями угля. США, СССР и Китай имеют очень крупные месторождения угля. Советский Союз, например, разрабатывает в Сибири в Канско-Ачинском районе Красноярского края гигантские залежи угля, сравнимые по энергосодержанию с нефтяными запасами Персидского залива. В настоящее время там добывается 40 миллионов тонн угля в год и планируется увеличить годовое производство до одного миллиарда (10^9) тонн. Такой уровень добычи изменит соответ-

ствующую инфраструктуру, включая строительство крупных городов. Столь же велики возможности добычи угля в Китае. Призыв использовать уголь услышан даже в ФРГ, хотя условия для увеличения его использования в этой и в других промышленно развитых странах не вполне благоприятны. Любое предпочтение углю сразу поднимает проблему двуокиси углерода. Я имею в виду угрозу перенасыщения земной атмосферы этим веществом, являющимся продуктом сгорания угля. Проблема двуокиси углерода — это основа оппозиционной аргументации, которая предлагает стратегию исклечения угля.

Другая группа требует немедленного отказа от ядерной энергии. По-видимому, это требование означает, что за ядерной энергией еще не признается ее экономическое значение, но при этом не указывается никакой альтернативы. Контраргументом может служить тот факт, что даже сегодня ядерная энергия составляет весомую часть в производстве электричества, и в ближайшем будущем ее замены не предвидится.

Третья группа утверждает (иногда многоречиво), что применение ядерной энергии является лишь переходным решением. Но напрашивается вопрос: какова же конечная цель этого перехода? Чтобы ответить на него, следует вспомнить, что практически существуют только три неисчерпаемых неуглеродных источника энергии. Это — ядерная энергетика на основе быстрых реакторов-размножителей, широкое использование солнечной энергии и ядерная энергетика на основе термоядерного синтеза. В них заключены основные возможности любой долговременной стратегии. Технической реальностью являются пока реакторы-размножители. Настоящий уровень исследований и разработок не позволяет предсказать, станет ли реальностью и когда именно коммерчески выгодное и значительное использование солнечной энергии и термоядерного синтеза.

Позиция четвертой группы особенно экстремальна: она считает сбережение энергии ключом к решению всех энергетических проблем, а

Проф. Хефеле — директор фирмы „Кернфоршунгсанлаге“ (KFA) в Юлихе, ФРГ. Эта статья составлена с его разрешения на основе доклада, представленного им 14 сентября 1988 г. в Дортмунде на конференции VGB по электростанциям. Полный текст доклада (на немецком языке) опубликован в VGB Kraftwerkstechnik, Mitteilungen der VGB Technische Vereinigung der Grosskraftwerksbetreiber e.V., Jahrgang 68, Heft 11/88, S. 1089–1097.

удовлетворение растущих потребностей видит только в так называемых источниках „альтернативной энергии“. Под ними подразумеваются местное использование солнечной энергии и применение возобновляемых источников энергии природной среды (ветер, вода, биомасса). Особый акцент делается также на децентрализацию обеспечения энергетическими источниками. Конечно, сбережение энергии всегда было законом экономики и основной целью любой энергетической технологии. В лучшем случае можно ожидать, что сбережение облегчит решение энергетических проблем, но это — не идеальное решение. Разумные аргументы не подтверждают преувеличенные надежды на потенциал возобновляемых источников энергии. Практически они ограничены, за исключением возможности широкого применения солнечной энергии в засушливых районах.

Мировое потребление энергии

Каковы же в этой полной противоречий ситуации ключевые точки в разработке проектов стратегий? Рассмотрение имеющихся данных по энергообеспечению и тенденций их развития позволяет определить некоторые практические пределы. В этом плане очень полезна основная единица энергии — тераватт (ТВт) в год. Один ТВт (или 10^9 киловатт) в год равен одному миллиарду тонн угля. Страны ОПЕК произвели и продали в 1987 г. около 1 ТВт нефти, а на открытой разработке лигнита в Гамбахе, близ Юлиха, примерно 1 ТВт будет получен за 50 лет.

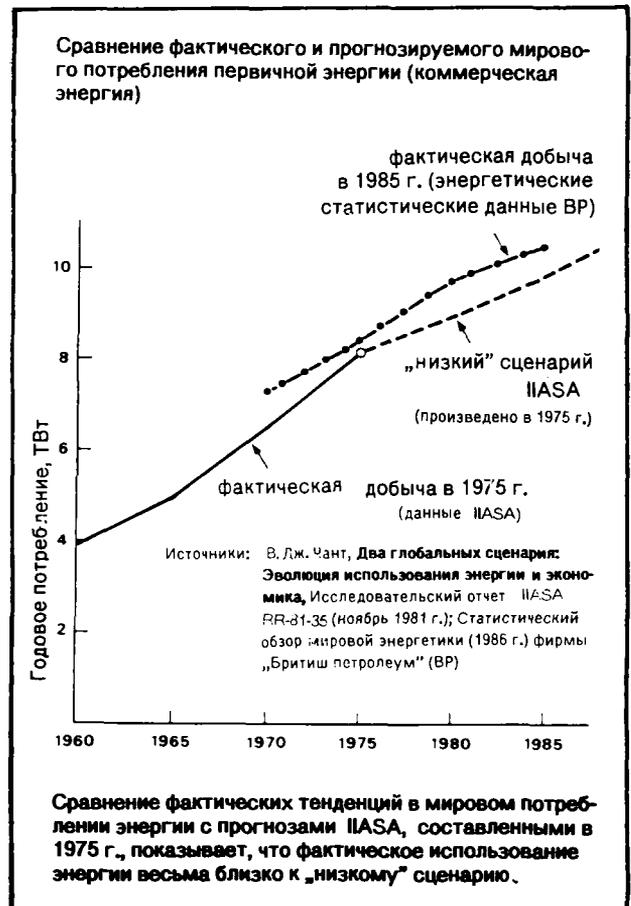
В 1985 г. общее использование первичной энергии приближалось к 10 ТВт, из которых на ФРГ приходилось 358 гигаватт в год. Эта общая цифра должна быть несколько увеличена за счет коммерческой энергии, главным образом за счет использования дров и органических отходов в бедных районах Земли. Эта энергия определена Комиссией по сохранению Всемирной энергетической конференции в 1,1 ТВт в год. При численности населения Земли в 5 миллиардов человек среднее годовое потребление энергии на душу населения составляет несколько больше 2 киловатт в 1985 г. Но фактическое годовое потребление на душу населения распределяется среди населения Земли неравно. В ФРГ оно составляет 6 киловатт в год, в Северной Америке — около 11 киловатт в год. На более, чем 40 % населения Земли приходится 0,3 киловатта коммерческой энергии в год.

Одним из важных аспектов проблемы энергообеспечения является рост населения. Можно достаточно точно предсказать его распределение по возрастам, а также рождаемость и смертность для имеющегося в настоящее время населения. В 2030 г. население земного шара составит примерно восемь миллиардов человек. Исходя из этой цифры и среднего годового потребления на душу населения в 2 киловатта в год, использование энергии в 2030 г. должно составить 16 ТВт. Эту цифру следует считать нижним пределом. Если предположить, что использование энергии развивающимися странами повысится до уровня, достигнутого в Западной Европе, то варианты прогнозов потребления энергии будут находиться в диапазоне от полутора- до четырехкратного увеличения от сегодняшнего

потребления энергии в зависимости от сделанных предположений в отношении использования энергии на душу населения.

Энергетические сценарии

Такие прогнозы можно совершенствовать, если учитывать другие переменные величины (многочисленные технические, экономические и социальные факторы). Должны также включаться дополнительные предположения, но не на случайной основе, а на основе того, чтобы они отражали различные предполагаемые социально-технические сценарии. Технический термин для них — „сценарная конструкция“. Сценарии — не прогнозы, а проекты возможных перспектив и ориентаций с сегодняшней точки зрения, но на основе широкого научного и интуитивного кругозора. Создание относительно широкого энергетического сценария требует чрезвычайно напряженных усилий, поскольку энергетические системы зависят от различных экономических факторов, уходящих своими корнями в особенности структуры общества и образа жизни. Частью интенсивных исследований в области энергетики явилась разработка в 70-х годах Международным институтом прикладного системного анализа (IIASA) в Лаксенбурге, близ Вены, двух глобальных энергетических сценариев на период 1975–2030 гг. Это — низкий и высокий варианты теоретического развития энергетики с



настоящего времени до 2030 г. С тех пор прошло свыше 10 лет, и оказалось, что „низкий” сценарий IASA по развитию потребления энергии представляет собой по меньшей мере хорошее приближение к тем данным, которые были собраны за это время (см. график). Появились и новые проекты, из которых можно выделить проекты Мирового института нефти в Нью-Йорке и Всемирной энергетической конференции, принимавшей участие в разработке „низкого” сценария IASA. Таким образом, „низкий” сценарий может способствовать правильному ориентированию в отношении перспектив будущего энергоснабжения и удаления отходов.

Возможности обеспечения ископаемым топливом

Вопрос о возможном обеспечении ископаемым топливом, особенно в долговременном плане, требует тщательного изучения. Простое перечисление открытых и оцененных энергетических запасов недостаточно для характеристики положения с ресурсами, так как природные месторождения различны по качеству. Например, на возможное экономическое использование ресурсов влияют такие факторы, как тип и концентрация сырья, разработка месторождения и инфраструктура его использования. Непосредственный экономический интерес для энергетики представляют то сырье и материалы, которые используются или производятся в соответствии с существующими техническими и экономическими критериями. Они называются *запасами*, если надлежащим образом подтверждены или уже разработаны. Новые запасы могут появляться как в результате открытия новых месторождений, так и путем возврата к разработке менее экономичных ресурсов. При обычном подходе к нашим материалам и сырью имеющиеся в настоящее время запасы оказываются в центре внимания. Но они составляют сейчас лишь небольшой процент от подтвержденных и оцененных топливных энергетических материалов.

На 12-м Всемирном конгрессе по нефти, состоявшемся в апреле 1987 г. в Хьюстоне, США, г-ном К.Д. Мастерсом была представлена последняя оценка запасов и ресурсов жидких и газовых углеводородов (см. таблицу), где проводится различие между экономичными и пока еще не экономичными материалами. Обычно нефть и газ рассматриваются в плане подтвержденных или предполагаемых запасов. К необычным ресурсам относятся тяжелые масла и смолы, природные битумы и смоляные пески, а также нефтяные сланцы. Примерами таких месторождений являются район Ориноко в Венесуэле, смоляные пески Атабаски в Канаде и нефтяные сланцы Колорадо в США. Они отличаются от обычных нефтяных ресурсов значительно более низким качеством, содержат много отходов и токсичных веществ. Прямое их использование возможно лишь после технически дорогостоящей обработки. Конечно, потребуются преодолеть целый ряд технических, экономических и экологических сложностей для того, чтобы широко использовать те энергетические ресурсы, которые сегодня считаются малоценными. Однако, если иметь в виду относительные количества, то становится ясно, что даже полное израсходование имеющихся сейчас

Мировые запасы и ресурсы нефти/газа и нетрадиционной энергии

	Традиционные		Нетрадиционные	
	Нефть (10 ⁹ м ³)	Газ (10 ¹² м ³)	Тяжелое масло, сланцевое масло, природный битум (10 ⁹ м ³)	
Общая добыча	83,3	33,2	5,5	} экономичны
Обнаруженные запасы	126,5	110,7	10,0	
Еще не обнаруженные	86,1	119,0	-	
Обнаруженные ресурсы	-	-	656,7	} еще не экономичны
Еще не обнаруженные	-	-	1700,1	
Всего	296	263	2372	
Еще имеются	≈ 500 ТВт · год		≈ 3000 ТВт · год	

Источник: К.Д. Мастерс, 12-й Всемирный конгресс по нефти, Хьюстон, США, 1987 г.

резервов ни в коей мере не означает прекращения использования ископаемого топлива. Наоборот, практика энергетической промышленности создания новых резервов путем включения неблагоприятных ресурсов и вложения новых капиталов предполагает тенденции постепенного перехода к нетрадиционным энергетическим ресурсам ископаемого топлива.

Экономические и технические условия такого перехода подробно исследовались фирмой KFA в Юлихе, и особенно вопрос о том, как такой переход может быть осуществлен во времени. Вообще, можно сказать, что увеличивающаяся мировая потребность в жидких углеводородах может быть

Региональное распределение предполагаемого мирового производства нефти



Источник: Г.К. Рунге, фирма „Кернфоршунгсанлаге” (KFA), Юлих, ФРГ

вполне удовлетворена до 2000 г. за счет нефти. Но в этом процессе следует ожидать сдвиг в региональном распределении добычи нефти. Это связано с ограниченной производственной способностью или уменьшением производственного потенциала в некоторых районах, что должно компенсироваться увеличением производства в других районах. В связи с этим значение богатых месторождений Персидского залива будет возрастать. Естественно, это ослабляет надежность снабжения, требующую, в свою очередь, своевременного принятия предосторожностей при разработке энергетической стратегии и технологии. В базовом сценарии KFA предусматривается постоянное увеличение эффективности производства на основе технологического прогресса: например, увеличение извлечения нефти (УИН). К 2010 г. мировые потребности в жидких углеводородах не смогут быть удовлетворены обычной нефтью. Поэтому в последующие годы должна будет нарастающими темпами увеличиваться разработка нетрадиционных источников энергии. Предвидя сложную ситуацию, можно определить меры по замене нефти раньше указанного срока, например, где-то после 2000 г. (см. график). Эти сроки не следует считать определенными; они скорее качественное выражение количественной ситуации. Описанный ход развития может на самом деле произойти на 5 лет раньше или позже.

Аналогично в количественном отношении развитие потребностей и производства обычного газа. Время, когда его производство не будет способно удовлетворить возрастающие потребности и когда обнаружится тенденция к его сокращению, наступит несколько позже, чем для нефти, возможно, где-то около 2020 г., в связи с особенностями газового рынка и положения с запасами газа. Безусловно, к этому времени должны быть приняты те же предосторожности, что и для нефти.

Переход на новые условия

Из вышесказанного следует, что время интенсивного использования высококачественных месторождений углеводородов при низкой стоимости добычи подходит к концу (вероятно, 2010–2030 гг.). Потребности в высококачественных углеводородах, которые останутся и после указанного периода времени, смогут удовлетворяться за счет тех имеющихся в изобилии источников, которые сегодня считаются малоценными. Энергетическая система находится в переходной стадии к новым условиям.

Новые критерии использования и оценки ресурсов требуют учета совершенно других технологических, экономических и геополитических взаимодействий. Это очевидно не только в отношении снабжения, но и в отношении удаления отходов. Мы все еще сохраняем привычку сжигать относительно высококачественное и чистое топливо. Но мы уже пользуемся методами контроля за выделениями, например, при очистке газов в трубах электростанций для предотвращения загрязнения окружающей среды сверх установленных норм. Увеличение же энергетических потребностей и переход к топливу более низкого качества предполагает количественное возрастание отходов. Это

относится прежде всего к двуокиси углерода, выбрасываемой при сжигании ископаемого топлива. Согласно „низкому“ сценарию IASA, общее потребление ископаемого топлива возрастет к 2030 г. до 633 ТВт. Часть этой энергии (около 400 ТВт) будет получена за счет сжигания углерода, химически связанного в нефти и газе. Количество получаемой при этом двуокиси углерода приближается к естественному ее содержанию в атмосфере. Другими словами, использование ископаемого топлива для получения 633 ТВт означает почти удвоение содержания двуокиси углерода в атмосфере. Одно время предполагали, что такое удвоение повысит температуру на земном шаре примерно на 3 градуса по Цельсию (с точностью плюс-минус 1,5 градуса). На полюсах повышение температуры должно быть более значительным, что приведет к обильному таянию континентального льда в Арктике и Гренландии и подъему уровня моря на несколько метров. При этом редко упоминалось о заметном повышении изменчивости климата как первоначальном симптоме. Однако находятся метеорологи, которые время от времени выражают мнение, что климатические аномалии, зарегистрированные в течение последнего десятилетия, могут интерпретироваться как первые сигналы критической перегрузки атмосферы.

Уровни двуокиси углерода

„Парниковый“ эффект двуокиси углерода физически вызывается повышенной атмосферной абсорбцией инфракрасного излучения. В геофизический процесс включается целый ряд причинных и эффективных механизмов, а также механизм обратной связи, что чрезвычайно затрудняет исчерпывающее объяснение явлений в строго научном смысле. Поэтому к мнению об удвоении содержания двуокиси углерода в атмосфере пришли очень простым путем в результате применения кумулятивных величин потребления, указанных в „низком“ сценарии IASA. Часть антропогенной эмиссии двуокиси углерода в атмосферу (примерно половина) очень быстро абсорбируется (в пределах 10–20 лет) верхними слоями вод океана. Парниковый эффект, вызываемый остальной частью двуокиси углерода, значительно усиливается антропогенными газообразными микроэлементами (включая хлорированно-фторированные углеводороды, метан, веселящий газ).

Буферный эффект верхних слоев вод океана ограничен константами времени процессов обмена на глубине. Таким образом, излишек двуокиси углерода в атмосфере уменьшается медленно. Новые исследования показали, что время осаждения двуокиси углерода в виде глубоководных карбонатов (т. е. время окончательного избавления от нее) составит 600–900 лет.* Применяемый метод удаления двуокиси углерода, являющийся основным продуктом сжигания ископаемого топлива, определяет те временные рамки, которые

* Предположение: 2-3 постоянных времени экспоненциального обмена.

нам хорошо известны по ситуации с захоронением ядерных отходов. Характер решаемых нами проблем в определенной мере аналогичен. Идеального решения, избавляющего нас от всех проблем, по-видимому, не существует.

Конференция в Торонто

В рамках состоявшейся в 1988 г. и открытой премьер-министром Канады конференции в Торонто состоялось широкое обсуждение проблемы двуокиси углерода. Признав всю серьезность этой проблемы, делегаты определили некоторые основные цели для ее решения. Предполагается достичь принудительными мерами сокращения к 2005 г. эмиссии двуокиси углерода на 10 % как потребителями, так и производителями. Перечень мер включает в себя, безусловно, повышение эффективности, долгое время остававшейся основной проблемой технологического развития и входящей в настоящее время в практику. Он включает в себя также призыв к большему использованию газа и нефти вместо угля (к такому призыву редко когда прислушивались в 70-х годах). Включены и такие меры, как увеличение потребностей в неископаемой первичной энергии, более широкое использование так называемых альтернативных источников энергии и дискуссии по переоценке возможностей использования ядерной энергии.

Не следует переоценивать или недооценивать эти цели. Не требуется больших усилий, чтобы доказать, что они, возможно, недостижимы. Нужно правильно понять то, что выражается этими целями: осознание проблемы, связанной с расширением знаний в области геофизических процессов.

В связи с этим напрашивается вопрос: до какой степени следует считать эмиссию двуокиси углерода в атмосферу неопасной с точки зрения долгосрочной перспективы (в том смысле, что динамическое равновесие климатических процессов не будет нарушено)? Трудно даже определить рамки проблемы. Например, по каким критериям должна измеряться чувствительность? История Земли знает значительные климатические изменения. Метеорология давно пытается найти ответ на эти вопросы. Для того, чтобы можно было делать какие-то прогнозы, безусловно, условные, приблизительные и с оговорками, надо создавать широкомасштабные двойные модели атмосферного океана, для которых лишь совсем недавно оказалось возможным записать и задействовать компьютерные программы благодаря современным суперкомпьютерам.

Первый ответ дается в недавно опубликованном исследовании Майера-Реймера и Хассельмана.* Ученые указывают в этом исследовании на то, что эмиссия двуокиси углерода при стахиометрическом эквиваленте в 2,5 гигатонны углерода в год

(или 9,2 гигатонны двуокиси углерода в год в течение 100 последующих лет) приведет лишь к незначительному повышению содержания двуокиси углерода в атмосфере. Но это без учета влияния ее на океаническую биоту. Это всего лишь приблизительное значение; оно выражено с оговорками, и должно восприниматься с оговорками, так как вполне может измениться. Во всяком случае, нынешняя эмиссия вдвое превышает указанное значение. Годовое потребление энергии в мире в 1985 г., составившее 10 ТВт, привело к эмиссии двуокиси углерода, соответствующей 5,7 гигатоннам углерода. Увеличение в настоящее время потребления энергии на 4,3 ТВт (или на 43 %) по сравнению с 1985 г. увеличит содержание углерода на 2,5 гигатонны. Эти величины должны учитываться в любой дискуссии относительно расширения или ограничения использования ископаемого топлива.

Вклад ядерной энергии

В настоящее время ядерная энергия является самым эффективным источником неископаемой энергии. На начало 1987 г. в странах Организации экономического сотрудничества и развития (ОЭСР) эксплуатировались 165 атомных электростанций общей мощностью около 222 гигаваатт электрических.*

Самая большая доля приходится на США. Это тем более примечательно, что среди немцев распространено мнение об отсутствии в США каких-либо атомных электростанций. Американцы вводят одну за другой давно запланированные или долго строившиеся станции. Франция также следует политике расширения ядерной энергетики, достигнув 50 % действующих мощностей США. Ядерная энергия является весомой экономической реальностью даже в ФРГ и в других странах. Это еще более очевидно по вкладу ядерной энергии в электроснабжение как в ведущих промышленных странах, так и во всех регионах мира (см. таблицу). Из 9849 тераватт-часов произведенной в мире в 1986 г. электроэнергии на долю атомных электростанций приходится 1515 тераватт-часов, или 15,4 %. И в глобальном масштабе, и по сравнению с Северной Америкой значительна доля АЭС в производстве электроэнергии в Западной Европе: она достигает 30 %. Если по каким-либо соображениям выдвигается требование отказа от ядерной энергии, то неизбежен вопрос: „Чем ее можно заменить?“. И если на этот вопрос не может быть дан ответ, то и требование не может быть принято.

* Странами-членами ОЭСР являются Австралия, Австрия, Бельгия, Канада, Дания, Финляндия, Франция, ФРГ, Греция, Исландия, Ирландия, Италия, Япония, Люксембург, Нидерланды, Новая Зеландия, Норвегия, Португалия, Испания, Швеция, Швейцария, Турция, Великобритания и США. Особый статус имеет Югославия.

* "Transport and storage of carbon dioxide in the ocean - an inorganic ocean-circulation carbon cycle model", by E. Maier-Reiner and K. Hasselmann, *Climate Dynamics*, 2, 63-90 (1987).

Производство электроэнергии атомными электростанциями, 1986 г.

	Атомные электростанции (ТВт·ч)	Общее производство (ТВт·ч)	Доля атомных электростанций (%)
Северная Америка	481	3076	15,6
Западная Европа	597	1967	30,3
Район Тихого океана	166	814	20,5
Восточная Европа	198	2134	9,3
Азия	57	962	6,0
Латинская Америка	5,5	509	1,1
Африка и Средний Восток	8,8	386	2,3
Всего в мире	~ 1515	~ 9849	15,4
Доля стран ОЭСР в мировом производстве	1244	5857	21,2

Переработка и обеспечение ядерным топливом

Обеспечение ядерным топливом не является проблемой, во-первых, из-за избытка урана и, во-вторых, благодаря наличию быстрого реактор-размножителя. Трудности заключаются в захоронении ядерных отходов, а если более точно, в систематической обработке отработавших топливных элементов. Это четко видно при сравнении годового выхода в странах ОЭСР отработавшего топлива и имеющихся в этих странах мощностей по его переработке. В 1986 г. в странах ОЭСР было 5300 тонн отработавшего топлива, включая 35 тонн делящегося плутония, подлежащего переработке. В 2000 г. эти количества составят, как ожидается, соответственно, 8300 тонн и 54 тонны. Имевшиеся в 1987 г. в странах ОЭСР мощности могли переработать 1980 тонн в год. Если все запланированные и строящиеся установки по переработке будут введены в действие, эти мощности увеличатся на 2800–4780 тонн в год. В самом лучшем случае в 2000 г. непереработанными останутся 3520 тонн отработавшего топлива, а в худшем случае – 6320 тонн (это, соответственно, 23 и 42 тонны плутония). Экстраполяция на 2030 г. показывает, что к тому времени в отработавшем топливе накопится несколько тысяч тонн плутония. Но он не может аккумулироваться в виде отработавшего топлива, а должен использоваться в реакторе, так как мы не имеем права оставить последующим поколениям проблему постоянно хранимых отработавших топливных элементов.

Как мы уже видели, удаление продуктов сгорания ископаемого топлива также связано с трудностями, хотя они и различны, а различные вещи трудно сравнивать. Но следует сопоставить и взвесить соответствующие преимущества и недостатки различных аспектов для того, чтобы составить мнение и принимать решения на основе объективных критериев. В свете такого сравнения полезно рассмотреть количественные аспекты подлежащих захоронению материалов.

При годовом производстве в 10 ТВт на основе только ядерной энергии отходы будут составлять 4680 тонн в год. Это – приемлемое и технически обеспечиваемое для захоронения количество. Для сравнения, при энергоснабжении исключительно за счет ископаемого топлива эмиссия двуокиси углерода достигла бы 21 миллиарда (10⁹) тонн в год, что соответствует 5,7 миллиарда тонн в год выбрасываемого в атмосферу углерода. Таким образом, соотношение потоков ископаемых и ядерных отходов – один миллион к единице. Регулирование потока ядерных отходов требует особой заботы, но, как мы знаем, внимания требует и проблема двуокиси углерода.

Выбор энергии

Как видим, жидкие и газообразные углеводороды могут использоваться в течение длительного времени, но с определенными ограничениями (для получения не более 4–5 ТВт энергии в год). Мы не намереваемся свести их применение к нулю.

В настоящее время имеются три (и только три) варианта для выбора получения безуглеродной первичной энергии мощностью от 10 ТВт и больше. Это, как уже говорилось выше, – быстрый реактор-размножитель, широкомасштабное использование солнечной энергии и термоядерный синтез.

Для производства безуглеродной первичной энергии в диапазоне от 1 ТВт в год могут рассматриваться „альтернативные” источники энергии: вода, ветер и солнечная энергия (для местного использования). Их производственный потенциал может составить 10 % от потребляемой в настоящее время в мире энергии. Поэтому на самом деле они являются не альтернативными, а, скорее, дополнительными источниками энергии.

В результате изменений в оценке экономического значения возобновляемых источников энергии их рассмотрение отложено на перспективу. Потенциал этих источников неоднократно изучался в ФРГ и каждый раз признавался низким. Не случайно сохранение энергии заняло центральное место в большинстве сценариев с использованием альтернативных источников энергии. Но система снабжения, использующая эти источники, должна обладать особыми свойствами.

Тема сохранения обусловлена идеалистическими целями экономии энергии, с одной стороны, и реально осуществляемыми возможностями такой экономии – с другой. Очевидно нужно рассмотреть вопрос о том, что следует понимать под необходимым или разумным потреблением энергии. Величины годового потребления на душу населения мира разбрасываются в широком диапазоне между 0,6 киловатта в год для самого бедного человека (0,3 киловатта в год коммерческой энергии и 0,3 киловатта в год энергии от сжигания дров) и 11 киловатт в год для жителя Северной Америки (коэффициент-20).

В контексте потребления энергии необходимо осознать, что эффект использования энергии (т. е. энергетическая служба) зависит от ряда производственных факторов: капиталовложений, труда, знаний и опыта. Частично они взаимозаменяемы, т. е. один и тот же продукт может быть получен совершенно различными путями посредством

комбинирования соответствующих факторов. Можно создать ту же энергетическую службу при значительно меньшей затрате энергии, если соответственно увеличить капиталовложения, трудовые затраты и технологическое „ноу-хау“. Этот факт не всегда всеми осознается. Если мы сегодня говорим об эффективной энергетической технологии или о возможностях сохранения энергии, то понимаем под этим замену капитала энергией. Потребность в капиталах и вопрос об ограниченных, но надлежащим образом вкладываемых капиталах, становятся, как правило, менее значительными. Поэтому данные о возможностях сохранения энергии являются не чисто физико-техническим вопросом, а вопросом взаимодействия между технологией, экономикой и обществом. В этом же контексте следует подходить и к широко обсуждаемому вопросу об энергетических потребностях.

Определение приоритетов

Что такое надлежащие ориентации и перспективы, когда целью является преодоление обособлений и противоречий? Может быть, это – сумма различных аспектов? Целое, вероятно, больше суммы частей. Требуется определение приоритетов, и оно содержится в различных временных горизонтах. Первоочередной задачей сегодняшней энергетической технологии является уменьшение загрязнения окружающей среды, особенно окислами азота и двуокисью серы. Ниже временного горизонта в 50 лет возникает проблема двуокиси углерода. Появление критической концентрации двуокиси

углерода в атмосфере совпадает с лимитом времени в обеспечении обычными нефтью и газом. Мы не говорили о разработке технологии экологически чистых энергетических систем с небольшим содержанием углерода, которые будут внедряться в течение 100–140 лет и потребуют целенаправленных переходных стратегий. Они основываются на производстве водорода в качестве вторичного энергоносителя и электричества, а обеспечение первичной энергией будет в основном безуглеродным. Обеспечение нетрадиционным ископаемым топливом будет длиться по меньшей мере 250 лет.

Для уменьшения эмиссии двуокиси углерода потребуется около 50 лет. Сокращение содержания двуокиси углерода в атмосфере в результате взаимодействия верхних и глубинных слоев воды океана (окончательное отложение атмосферной двуокиси углерода) составляет горизонт времени в 500–1000 лет (типичные сроки распада радиоактивных отходов). Горизонты времени для энергообеспечения на основе бридеров или термоядерного синтеза – около 15000 лет, а на основе солнечной энергии – миллиарды лет. Как видим, основная проблема заключается не в ресурсах, как это считалось в 70-х годах, а в удалении продуктов сгорания ископаемого топлива.

Я думаю, что нарисованная картина, какой бы драматичной она ни представлялась, показывает направления преодоления обособлений и противоречий. Мы должны иметь в виду эти направления, если хотим вернуться к трезвой оценке энергетических взаимосвязей, которая позволит разумно и ответственно развивать соответствующую деятельность.



Атомная электростанция Госген, Швейцария. (Фото: Siemens)