

ПОТРЕБНОСТЬ В ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГИИ ВЗГЛЯД НА ТРУДНОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ БУДУЩЕЕ МИРА

РИЧАРД РОДС И ДЭНИС БЕЛЛЕР

Миру нужно больше энергии. Энергия умножает силы человека, повышая производительность труда. Она строит и освещает школы, очищает воду, приводит в действие сельскохозяйственные и швейные машины, управляет промышленными роботами, хранит и передает информацию. Население мира неуклонно растет и в 1999 г. перешагнуло шестимиллиардный рубеж. Однако треть этой массы людей — два млрд. человек — лишены доступа к пользованию электроэнергией. От энергии зависит развитие, альтернатива развитию — страдание: нищета, болезни, смерть. Такие условия порождают нестабильность и создают потенциал широкого распространения насилия. Поэтому интересы национальной безопасности требуют, чтобы развитые страны оказывали помощь в повышении выработки энергии в более густонаселенных развивающихся государствах. Ради безопасности и надежности энергоснабжения этот рост должен обеспечиваться из разнообразных источников.

По оценкам опубликованного в 1999 г. Британским королевским обществом и Королевской инженерной академией доклада о ядерной энергии и изменении климата, «на глобальном уровне по мере увеличения численности населения мира и стремления людей к повышению уровня жизни мы можем ожидать самое меньшее удвоение энергопотребления в следующие 50 лет и его роста до пяти раз в последующие 100». Даже если прилагать энергичные усилия по энергосбережению, чтобы под-



держивать потребление энергии всего лишь на уровне трети современного показателя на душу населения в США, ее мировое производство должно к 2050 г. утроиться. Международное

энергетическое агентство (МЭА) и Организация экономического сотрудничества и развития (ОЭСР) прогнозируют, что к 2020 г. мировой спрос возрастет на 65%, причем две трети его

Г-н Родс — автор книг «Создание атомной бомбы», «Темное солнце» и других. Г-н Беллер — инженер-ядерщик и технический специалист Лос-Аламосской национальной лаборатории США. Данная статья подготовлена на основе очерка авторов в журнале «Форин афферс», том 70, № 1 (январь—февраль 2000 г.) и публикуется здесь с разрешения синдиката «Нью-Йорк Таймс».

Фото: Ремонт линий электропередачи в Индонезии. (ПРООН)

ождается от развивающихся стран.

Королевская академия и Королевская академия предостерегают, что "с учетом вероятных уровней потребления в будущем удовлетворить глобальный спрос на энергию без нанесения непоправимого долгосрочного ущерба окружающей среде будет невероятно трудной задачей". Этот ущерб, в частности, связан с загрязнением поверхности и атмосферы Земли и глобальным потеплением.

ЧИСТЫЙ ПРОРЫВ В БУДУЩЕЕ

Сегодня большая часть мировой энергии обеспечивается за счет нефти (39%), угля (26%), природного газа (22%), гидро- (6,9%) и атомной энергии (6,3%). Хотя положение нефти и угля еще остается доминирующим, их доля на рынке несколько десятилетий назад начала снижаться. В то же время доли природного газа и ядерной энергии постоянно росли, и этот рост должен продолжаться.

Вопреки утверждениям антиядерных организаций, атомная энергетика отнюдь не мертва и не при смерти. Франция вырабатывает около 75% своего электричества с помощью ядерной энергии; Бельгия — 58%; Швеция — 47%; Швейцария — 36%; Япония — 36%; Испания — 31%; Соединенное Королевство — 29%; и Соединенные Штаты (самый крупный мировой производитель атомной энергии) — 20%. Республика Корея и Китай объявили о честолюбивых планах расширения мощностей своей ядерной энергетикой — в Корее путем строительства 16 новых АЭС, что повысит суммарную мощность более чем вдвое. Имея во всем мире 433 действующих реактора, ядерная энергетика удовлетворяет годовые потребности в электроэнергии более чем миллиарда людей.

В Америке и во всем мире ядерная безопасность и эффективность с 1990 г. значительно

улучшились. В 1998 г. и вновь в 1999 г. удельный коэффициент загрузки (доля мощности АЭС, которая фактически вырабатывает энергию) для действующих реакторов достиг рекордных уровней. В США средний коэффициент загрузки в 1999 г. был равен 85% для более 100 реакторов по сравнению с 58% в 1980 г. и 66% в 1990 г. Несмотря на сокращение числа АЭС, ядерная промышленность США выработала в 1999 г. на 9% больше электроэнергии, чем в 1998 г. Средняя стоимость производства ядерной энергии составляет сейчас только 1,9 цента за киловатт-час (кВт-ч), тогда как кВт-ч газовых электростанций стоит 3,4 цента.

Благодаря лишь повышению выхода мощности и улучшению эксплуатационных характеристик ядерная энергетика уже внесла наибольший из всех отраслей промышленности США вклад в выполнение обязательств этой страны по Киотскому протоколу в отношении ограничения выбросов двуокси углерода в атмосферу. В то же время радиационное облучение работников и количество отходов на единицу энергии по сравнению с прежними показателями еще более снизились.

Поскольку для распространения во всем мире основных сложных технологий требуется более полувека, на протяжении следующих ста лет природный газ будет делить лидирующую роль в выработке электроэнергии с ядерной энергетикой. Какой из двух технологий будет принадлежать большая доля, предстоит определить в дальнейшем. Но обе представляют собой более чистые и более надежные источники энергии по сравнению с теми видами топлива, которые они начали замещать, и их восхождение заслуживает поддержки.

Даже защитники окружающей среды должны бы приветствовать этот переход и пересмотреть свою одержимость возобновляемыми источниками энергии.

ЭНЕРГИЯ НА УГЛЕРОДНОЙ ОСНОВЕ

Из всех источников выработки электроэнергии уголь — худший враг экологии. (Нефть, доминирующий источник энергии сегодня, обеспечивает транспорт, что ставит ее в отдельную категорию.) Последние исследования Гарвардской школы здравоохранения показывают, что загрязняющие вещества от сгорания угля вызывают около 15 000 преждевременных смертей в год только в Соединенных Штатах. Сжигание угля для выработки около четверти мировой первичной энергии ведет к выбросу столь колоссальных объемов токсичных отходов, что их невозможно безопасно изолировать. Такие отходы либо непосредственно рассеиваются в воздухе, либо отверждаются и сбрасываются в отвалы. Некоторые из них даже примешивают в строительные материалы.

Помимо выброса вредных химических веществ в виде газов или токсичных частиц — серы и окисей азота (компонентов кислотных дождей и смога), мышьяка, ртути, кадмия, селена, свинца, бора, хрома, меди, фтора, молибдена, никеля, ванадия, цинка, окиси и двуокси углерода, а также других парниковых газов — электростанции, работающие на угле, являются также крупным мировым источником радиоактивных выбросов в окружающую среду. Уран и торий, слабо радиоактивные элементы, присутствующие повсюду в земной коре, оба содержатся в выбросах при сгорании угля. При добыче угля выделяется радиоактивный газ радон, образуемый при распаде урана в земной коре и обычно заключенный в недрах Земли. Угольная электростанция на 1000 мегаватт электрических [МВт (эл.)] выпускает в окружающую среду примерно в 100 раз больше радиоактивности, чем АЭС такой же мощности. Мировой суммарный выброс урана и тория от сгорания угля составляет около 37 300 т ежегодно, причем порядка 7300 т поступает из Соединенных Штатов. Так

как уран и торий являются высококалорийным ядерным топливом, то выходит, что в процессе сжигания угля теряется больше потенциальной энергии, чем вырабатывается.

Игнорирование радиоактивных отходов, образующихся при сжигании угля, подчеркивает те политически невыгодные условия, в которых действует ядерная энергетика. Современное законодательство заставляет ядерные компании электроснабжения, в отличие от угольных электростанций, инвестировать в создание дорогостоящих систем для ограничения радиоактивных выбросов. В Соединенных Штатах из-за боязни распространения ядерного оружия фактически не производится переработка ядерного топлива для повторного использования. Влияние этих факторов исказило экономику развития ядерной энергетике и создало политически труднорешаемую проблему удаления отходов. Если бы угольные компании электроснабжения были вынуждены нести подобные расходы, угольная электроэнергия больше не была бы дешевле атомной.

ВОЗОБНОВЛЯЕМАЯ ЭНЕРГИЯ: РЕАЛЬНАЯ ДЕЙСТВИТЕЛЬНОСТЬ ВНОСИТ КОРРЕКТИВЫ

Возобновляемые источники энергии — гидроэнергия, солнце, ветер, геотермальная и энергия биомассы — требуют высоких капитальных затрат, а их использование связано со значительными, хотя обычно и не признаваемыми, экологическими последствиями. Гидроэнергия даже не является возобновляемой в истинном смысле этого слова, поскольку плотины в конечном счете подвергаются заиливанию. Большинство возобновляемых источников собирают крайнюю разреженную энергию, требуя использования больших участков земли и массы коллекторов для ее концентрации. Изготовление солнечных коллекторов, заливка бетона на полях размещения ветроэнергетических

установок и затопление многих квадратных миль земли за плотинами наносят ущерб и вызывают загрязнение.

Фотоэлектрические батареи, используемые для сбора солнечной энергии, представляют собой большие полупроводники; их изготовление ведет к образованию высокотоксичных металлических отходов и остатков растворителей, утилизация которых требует специальной технологии. За 30-летний срок службы солнечной электростанции мощностью 1000 МВт (эл.) только в результате металлообработки образовалось бы 6850 т опасных отходов. Строительство сравнимой по мощности солнечной ТЭС (использующей зеркала, фокусируемые на центральной башне) потребовало бы металлов, обработка которых привела бы к образованию 435 000 т отходов, из которых 16 300 т были бы загрязнены свинцом или хромом и считались опасными.

Создание глобальной системы гелиоэнергии поглотило бы по крайней мере 20% известных мировых ресурсов железа. На ее строительство потребовалось бы целое столетие, а для ее поддержания в рабочем состоянии использовалась бы значительная часть ежегодной продукции мировой черной металлургии. Энергия, необходимая, чтобы изготовить достаточное для охвата площади в полмиллиона квадратных миль земной поверхности количества солнечных коллекторов и доставить электричество через системы дальней передачи, сама по себе стала бы прискорбным дополнением к глобальному бремени загрязнений и парниковых газов. Глобальная гелиосистема без резервной системы, работающей на ископаемом или ядерном топливе, была бы, кроме того, в опасной степени уязвима из-за падения интенсивности солнечного излучения вследствие вулканических явлений, таких как извержение вулкана Тамбура в 1815 г., когда в атмосферу было выброшено 40 куб. км пепла. На протяжении нескольких следую-

щих лет пепел значительно ослаблял солнечное излучение, что привело, в частности, к неурожаяю во многих районах на следующий после извержения год — “год, когда не было лета”.

Комплекты ветроэнергетических установок, помимо расхода миллионов фунтов бетона и стали на их строительство (и образования вследствие этого огромной массы отходов), малоэффективны из-за низкой (в силу прерывности работы) мощности. Они также создают визуальные и шумовые помехи, а кроме того становятся причиной массовой гибели птиц. Единственный комплекс ветроэнергетических установок в Калифорнии ежегодно убивает несколько сотен хищных птиц, включая десятки золотых орлов. От турбин ветроэнергетических установок погибло больше орлов, чем при катастрофическом разливе нефти в результате аварии танкера “Эксксон Вальдес”. Национальное общество Одюбона в связи с проектом строительства комплекса ветроэнергетических установок к северу от Лос-Анджелеса инициировало кампанию по спасению калифорнийского кондора. Комплекс ветроэнергетических установок, эквивалентный по выходу энергии и мощности электростанции на ископаемом топливе или АЭС мощностью 1000 МВт (эл.), потребовал бы установки более 4000 крупных ветродвигателей и занял бы от нескольких сот до тысячи кв. миль земли. А вырабатываемая им электроэнергия, даже при условии получения значительных субсидий и игнорирования скрытых затрат на борьбу с загрязнением, была бы в два или три раза дороже по сравнению со стоимостью ее производства на ископаемом топливе.

Несмотря на то, что уже задействована по крайней мере четверть мирового потенциала гидроэнергии, производимой плотинами, строительство которых ведет к затоплению больших земельных площадей, перемещению сельского населения, изменению экологии рек, гибели

рыбы и риску катастрофического обрушения, энергия ГЭС в последние годы лишилась поддержки защитников окружающей среды, что вполне понятно. Экспортно-импортный банк США отчасти пошел навстречу их лоббированию, когда отказался финансировать проект “Три ущелья” в Китае мощностью 18 000 МВт (эл.). Производство гидроэнергии фактически может привести к выбросу в атмосферу большего количества парниковых газов, чем при получении энергии из ископаемого топлива. Дело в том, что затопленная водой растительность, запертая позади многочисленных плотин, подвергается анаэробному разложению, выделяя в изобилии метан, парниковый газ, более вредный, чем двуокись углерода.

В то же время геотермальные источники — где используется внутреннее тепло Земли, находящее выход в районах гейзеров или у подножия вулканов, — по самой своей природе малочисленны и зачастую расположены в живописных ландшафтах (например, Йеллоустонский национальный парк в США), которые защитники природы, естественно, хотят сохранить.

Принимая во внимание эти и другие недостатки, такие организации, как Мировой энергетический совет и МЭА, прогнозируют, что к 2020 г. гидроэнергия будет по-прежнему составлять 6,9% мирового производства первичной энергии — столько же, сколько и сегодня, — тогда как доля всех других возобновляемых источников, хотя они будут щедро субсидироваться, по сравнению с нынешними 0,5% возрастет — но не более чем до 5—8%. В Соединенных Штатах, занимающих ведущее место в выработке возобновляемой энергии, ее производство за 1997—1998 гг. фактически снизилось на 9,4%: гидроэнергии — на 9,2%, геотермальной — на 5,4, энергии ветра — на 50,5 и солнечной — на 27,7%.

Тогда подобно мечте об управляемом термоядерном синтезе, видение мира, который питается

чистой энергией из возобновляемых источников, по-прежнему не может реализоваться, несмотря на дорогостоящие НИОКР, получающие крупные субсидии. В 1997 г. в США федеральные инвестиции в НИОКР в пересчете на 1000 кВт·ч выработки составляли: на ядерную и угольную энергию — только 5 центов, на нефть — 58 центов, на газ — 41 цент, — но более 4700 долл. США — на энергию ветра и 17 000 долл. США — на фотоэлектрическую энергетику. Эти массивные вложения государственных средств в возобновляемые источники энергии нашли бы лучшее применение, если бы были сделаны в работу по созданию более чистых угольных электростанций и более чистых автомобилей.

По данным Роберта Бредли из Хьюстонского института энергетических исследований, США вложили в развитие энергосберегающих технологий и возобновляемых источников (без гидроэнергии) собранные за 20 лет средства налогоплательщиков на общую сумму порядка 30—40 млрд. долл. США — “самые крупные в истории США правительственные расходы на энергетические цели в мирное время”. И, по мнению Бредли, “5,8 млрд. долл. США, израсходованных Министерством энергетики только на субсидии в ветровую и солнечную энергетику”, могло бы хватить на “замену самых грязных угольных электростанций страны мощностью от 5000 до 10 000 МВт (эл.) парогазовыми турбинами, что привело бы к сокращению на одну—две трети выбросов двуокиси углерода”. Замена угля ядерной энергетикой позволила бы еще больше снизить общие объемы выбросов.

Несмотря на массивную инвестиционную поддержку, энергосбережение и использование возобновляемых негидроэнергетических источников “упрямо не желают” становиться конкурентоспособными, внося лишь минимальный вклад в энергообеспечение США. Если уж самая

процветающая нация в мире не может выдержать таких расходов, тогда кому еще это по силам? Очевидно, не Китаю, где ожидают к 2025 г. производить менее 1% своей коммерческой энергии из возобновляемых негидроисточников. Уголь и нефть будут к тому времени продолжать доминировать в энергообеспечении Китая, если развитые страны не смогут предложить самой густонаселенной стране мира стимулов для изменения своих планов.

СРАВНИВАЯ ВАРИАНТЫ

Природный газ в качестве топлива обладает по сравнению с углем и нефтью многими достоинствами, и его доля в мировом энергоснабжении в первой половине XXI века безусловно будет расти. Однако запасы газа ограничены и распределены неравномерно, а как источник выработки энергии он обходится дороже, чем уголь или уран и к тому же загрязняет воздух. Работавшая на природном газе станция мощностью 1000 МВт (эл.) выбрасывает ежедневно 5,5 т оксидов серы, 21 т оксидов азота, 1,6 т оксидов углерода и 0,9 т макрочастиц. В Соединенных Штатах производство энергии из природного газа привело в 1994 г. к выбросу около 5,5 млрд. т отходов. Пожары и взрывы при использовании природного газа также представляют значительный риск. Одна миля газопровода диаметром три фута при давлении 1000 фунтов на кв. дюйм содержит в себе эквивалент энергии взрыва мощностью в две трети килотонны. Земля опоясана такими крупными газопроводами общей протяженностью в миллион миль.

Огромное преимущество ядерной энергетики заключается в ее способности извлекать колоссальную энергию из малых объемов топлива. Деление атомного ядра, превращающее материю непосредственно в энергию, дает в несколько миллионов раз больше энергии, чем химический процесс сгорания, который лишь разрывает химические связи.

Одна тонна ядерного топлива производит столько же энергии, сколько можно получить, используя 2—3 млн. т ископаемого топлива. Сжигание 1 кг дров может дать 1 киловатт-час электроэнергии; 1 кг угля — 3 кВт-ч; 1 кг нефти — 4 кВт-ч. А из 1 кг уранового топлива в современном легководном реакторе вырабатывается 400 тыс. кВт-ч электроэнергии; если же этот уран используется повторно, то 1 кг может дать более 7 млн. кВт-ч. Эти колоссальные различия в объемах помогают объяснить поразительную разницу в экологическом воздействии ядерного топлива по сравнению с ископаемым. Работа электростанции мощностью в 1000 МВт (эл.) в течение года требует 2000 железнодорожных вагонов угля или 10 супертанкеров нефти, но всего лишь 12 кубических метров природного урана. На другом конце топливного цикла станций, работающих на ископаемом топливе, даже оборудованных системами борьбы с загрязнениями, образуются тысячи тонн токсичных газов, макрочастиц и пепла, несущего тяжелые металлы (и радиоактивные вещества), плюс твердые опасные отходы — до 500 тыс. т серы от использования угля, более 300 тыс. т — от нефти и 200 тыс. т — от природного газа.

Напротив, АЭС мощностью в 1000 МВт (эл.) не выбрасывает ядовитых газов и других поллютантов*, а ее радиоактивное воздействие в расчете на одного человека гораздо ниже, чем при полете на самолете, использовании бытового индикатора задымленности или включении телеви-

** В настоящее время уран перерабатывается и преобразуется в топливные сборки с использованием энергии угля, что, конечно, приводит к образованию поллютантов. Если бы для получения технологического тепла применялась ядерная энергия или если бы топливные сборки перерабатывались для повторного использования, этот источник образования загрязнения был бы устранен или значительно уменьшен.*

зора. Она производит около 30 т высокоактивных отходов (отработавшее топливо) и 800 т отходов низкой и средней активности — при уплотнении всего около 20 кубометров (это, грубо говоря, объем двух автомобилей). Все действующие в мире АЭС производят ежегодно порядка 3000 кубометров отходов. Для сравнения: промышленность США дает ежегодно около 50 млн. кубометров твердых токсичных отходов.

Безусловно, высокоактивные отходы являются источником интенсивной радиоактивности (низкоактивные могут быть менее радиоактивны, чем угольная зола, используемая для изготовления бетона и гипса, — тот и другой применяются в строительных материалах). Однако благодаря их малому объему и тому, что они не попадают в окружающую среду, эти высокоактивные отходы могут быть надежно изолированы с помощью многочисленных защитных барьеров. Угольные отходы, рассеянные на местности в дымовых выбросах или захороненные неглубоко от поверхности земли, остаются токсичными навсегда. А радиоактивный распад ядерных отходов идет непрерывно, что приводит к потере 99% их токсичности спустя 600 лет — т. е. вполне в пределах человеческого опыта по обеспечению охраны и сохранности памятников старины, что видно из истории таких сооружений, как римский Пантеон или собор Парижской богородицы.

В Соединенных Штатах удаление радиоактивных отходов представляет собой политическую проблему из-за широко распространенных страхов, несоизмеренных с реальным риском. Однако это не техническая проблема, о чем свидетельствуют передовые проекты во Франции, Швеции и Японии. По оценкам Всемирной организации здравоохранения, загрязнение воздуха внутри и вне помещений приводит примерно к трем миллионам смертей ежегодно. Замена огромной рассеянной массы токсичных отходов ископаемого

топлива небольшими и надлежащим образом изолированными объемами ядерных отходов могла бы обеспечить настолько очевидное улучшение положения с охраной здоровья человека, что вызывает удивление, почему врачи до сих пор этого не потребовали.

По издержкам производства ядерная электроэнергия, вырабатываемая на действующих АЭС в США, уже вполне может конкурировать с электричеством, получаемым от ископаемых видов топлива, хотя новая ядерная энергия оказывается несколько дороже. Однако этот ярлык с более высокой ценой вводит в заблуждение. Большие АЭС требуют более крупных капиталовложений, чем сравнимые по мощности угольные или газовые станции только потому, что компании ядерной энергетики вынуждены строить и обслуживать дорогостоящие системы для предотвращения попадания радиоактивности в окружающую среду.

Если бы электростанции на ископаемом топливе должны были подобным же образом изолировать собственные поллютанты, они бы стоили намного дороже, чем АЭС. Европейский союз и МАГАТЭ пришли к выводу, что “при равных объемах вырабатываемой энергии угольные и нефтяные станции... из-за их крупных выбросов и больших потребностей в топливе и транспорте имеют самый высокий уровень внешних расходов и соответственный эквивалент по смертным случаям. Внешние расходы примерно в десять раз выше, чем на АЭС, и могут составить существенную долю стоимости выработки электроэнергии”. Расчет эквивалентного числа смертей на гигаватт выработанной энергии (т. е. сокращение средней продолжительности предстоящей жизни от воздействия поллютантов) показывает, что уголь убивает ежегодно 37 человек, нефть — 32, газ — 2, ядерная энергетика — 1. Иными словами, по сравнению с ядерной энергетикой ископае-

мые виды топлива (и возобновляемые источники) до сих пор, образно говоря, пользовались “бесплатным проездом” в том, что касается охраны окружающей среды, здоровья человека и безопасности.

Но даже такая оценка для ядерной энергетики — один смертный случай — вызывает сомнения. Она зависит от того, возрастает, согласно давней теории “линейной беспороговости” (ЛБП), или нет риск раковых заболеваний в случае радиационного облучения, уровень которого значительно ниже ранее существовавшего естественного фона. Хотя ЛБП требует тщательно разработанных и дорогостоящих режимов изоляции при операциях, связанных с ядерной энергией и удалением отходов, нет никаких доказательств, что облучение радиацией низкого уровня повышает риск раковых заболеваний. В действительности есть достоверные свидетельства того, что это не так, более того — даже доказательства, что облучение низкими дозами радиации улучшает здоровье и продлевает жизнь, возможно, благодаря стимуляции иммунной системы — подобно тому, как действуют вакцины. (По данным авторитетного исследования радонового фона сотен тысяч домов в более чем 90% округов США, частота возникновения рака легких с увеличением фонов радонового облучения значительно снижалась — как у курильщиков, так и у некурильщиков.) Таким образом, низкий уровень радиоактивности в результате производства ядерной энергии представляет в худшем случае пренебрежимо малый риск. Авторитетные специалисты по геологии и технике угля приводят тот же аргумент в отношении низкого уровня радиоактивности от сгорания угля. Например в фактологическом бюллетене Геологической службы США делается вывод, что “радиоактивные элементы в угле и зольной пыли не должны служить причиной для тревоги”. Однако установление ограниче-

ний, которых не знает угольная промышленность, создает помехи для развития ядерной энергетики и приводит к неоправданным задержкам в удалении ядерных отходов.

Ни одна технологическая система не гарантирована от аварий. Недавние переливы и прорывы плотин в Италии и Индии стали в каждом случае причиной гибели нескольких тысяч людей. Аварии в угольных шахтах, пожары на нефтяных и газовых предприятиях и взрывы газопроводов обычно уносят каждый раз сотни человеческих жизней. Катастрофа на химическом заводе в Бхопале стала причиной немедленной гибели 3000 человек и вызвала отравление нескольких сотен тысяч людей. По данным Агентства США по охране окружающей среды, в период между 1987 и 1996 гг. в результате более 600 тыс. аварийных выбросов токсичных химикатов в Соединенных Штатах 2565 человек погибли и 22 949 получили травмы.

По сравнению с этим случаи ядерных аварий были редки, а вредные последствия их минимальны. Последняя, получившая широкое освещение в средствах массовой информации, авария в Японии произошла не на АЭС, а на установке по изготовлению топлива для исследовательского реактора; погибших и раненых среди населения там не было. Что касается Чернобыльского взрыва, он стал результатом человеческой ошибки при эксплуатации реактора с дефектной в своей основе конструкцией, который не мог бы быть лицензирован на Западе. Эта авария нанесла серьезный ущерб людям и окружающей среде в локальном масштабе, включая 31 случай смерти в основном из-за радиоактивного облучения. На Украине возросло число заболеваний раком щитовидной железы у детей, подвергшихся воздействию радиоактивных осадков. Этого можно было бы избежать посредством оперативной йодовой профилактики. Было диагностировано более 800 случаев

этой болезни и прогнозируется еще несколько тысяч больных. Хотя болезнь излечима, трое детей погибли. По расчетам на основе ЛБП прогнозируется 3420 летальных исходов у раковых больных среди жителей Чернобыльской зоны и ликвидаторов. Чернобыльский реактор не был оснащен внешней защитной оболочкой, фундаментальной системой безопасности, обязательной для западных реакторов. Послеаварийные расчеты показывают, что такая структура дала бы возможность изолировать взрыв и соответственно радиоактивность. В таком случае ранений и гибели людей удалось бы избежать.

Эти цифры по наиболее серьезной ядерной аварии из всех когда-либо случившихся заметно ниже по сравнению с крупными авариями в других отраслях. Более 40 лет коммерческой эксплуатации ядерной энергетики демонстрируют, что ядерная энергия гораздо безопаснее, чем системы, работающие на ископаемом топливе, в том что касается промышленных аварий, экологического ущерба, воздействия на здоровье и долгосрочных рисков.

ПОВТОРНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ: ПЕРЕОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТЕЙ

Большая часть урана, используемого в ядерных реакторах, представляет собой инертный нерасщепляющийся продукт, непригодный для применения в оружии. Однако действующие реакторы производят расщепляющийся плутоний, который мог бы быть использован в бомбах, и поэтому коммерциализация ядерной энергетики вызвала озабоченность в связи с опасностью распространения оружия. В 1977 г. президент США Картер отложил на неопределенное время повторное использование “отработавшего” ядерного топлива, сославшись на риск распространения. Это решение привело к фактическому прекращению повторного использования ядерного топлива в США, несмотря на то, что

оно сокращает объем и радиотоксичность ядерных отходов и могло бы на тысячелетия продлить возможность иметь запасы ядерного топлива. Другие государства по-иному оценили эти риски и большинство из них не последовало примеру США. Франция и Соединенное Королевство в настоящее время занимаются переработкой отработавшего топлива; Россия запасает топливо и выделенный плутоний для будущего скачкообразного перехода к запуску топливных циклов быстрых реакторов; Япония приступила к использованию переработанного уран-плутониевого смешанного оксидного топлива (СОТ) в своих реакторах и недавно утвердила план строительства к 2007 г. новой АЭС, работающей только на СОТ.

Хотя плутоний из энергетических реакторов теоретически может быть использован для изготовления ядерных взрывных устройств, отработавшее топливо представляет собой тугоплавкий, высокорadioактивный материал, обработка которого выходит за пределы возможностей террористов. Оружие, изготовленное из реакторного плутония, оказалось бы высокорadioактивным, неустойчивым, с непредсказуемой мощностью взрыва. Индия получила оружейный плутоний путем экстракции из канадского тяжеловодного реактора и не допускает инспекцию некоторых реакторов двойного назначения, которые она построила. Однако случаев переключения плутония на производство оружия из британских или французских перерабатывающих установок или из топливных поставок не было, инспекции МАГАТЭ служат эффективным средством предотвращения такого рода переключений. Но риск распространения, по заключению МАГАТЭ, "не сведен к нулю и не станет нулевым даже при прекращении существования ядерной энергетики. Только постоянное укрепление режима нераспространения останется краеугольным камнем в усилиях по предотвращению

распространения ядерного оружия".

Ирония в том, что захоронение отработавшего топлива без экстракции содержащегося в нем плутония путем переработки в действительности повышает долгосрочный риск ядерного распространения, поскольку распад менее расщепляющихся и более радиоактивных изотопов в отработавшем топливе от одного до трех столетий спустя улучшает взрывные качества плутония в его составе и повышает его привлекательность для оружейного использования. Помимо почти безграничного увеличения мировых ресурсов урана повторное использование позволило бы осуществить конверсию плутония для полезных энергетических целей путем разделения его на более короткоживущие, нерасщепляющиеся и неопасные элементы ядерных отходов.

Сотни тонн плутония оружейного класса, производство которого обошлось супердержавам в миллиарды долларов, превратились за последнее десятилетие в излишки военных ресурсов. Вместо того, чтобы — как предлагает Вашингтон — захоронить некоторое количество вызывающего беспокойство стратегического материала, который в то же время представляет энергетическую ценность, его следует переработать в ядерное топливо. Скрытое распространение предотвращалось бы международной системой повторного использования и обращения с таким топливом. По представлению Эдварда Артура, Поля Каннингхэма и Ричарда Вагнера из Лос-Аламосской национальной лаборатории США, такая система включала бы хранение и выдачу материалов под международным контролем, а также переработку всего выделенного плутония в топливо СОТ для энергетических реакторов. В более отдаленной перспективе усовершенствованные реакторы интегрированной обработки-испытания материалов осуществляли бы получение, контроль и пере-

работку всего отработавшего топлива, поступающего с реакторов всего мира, вырабатывая электроэнергию и превращая отработавшее топливо в короткоживущие ядерные отходы, готовые для постоянного захоронения в геологических формациях.

ЕЩЕ ОДНО НОВШЕСТВО

Для того чтобы благами ядерной энергетики могли воспользоваться небольшие развивающиеся страны, где отсутствует ядерная инфраструктура, необходима разработка нового поколения — больших, модульных АЭС — способных конкурировать с природным газом, проектно безопасных, гарантирующих невозможность их использования в целях распространения и легких в эксплуатации. Министерство энергетики предоставило финансирование для разработки конструкции трех таких станций "четвертого поколения". Южноафриканская компания электроснабжения Эском объявила о планах поставки на рынок модульного реактора с газовым охлаждением и засыпкой из шаровых твэлов, который не требует аварийных систем охлаждения активной зоны и физически не в состоянии "расплавиться". По оценке Эском, реактор будет вырабатывать электроэнергию по цене около 1,5 цента за кВт·ч, что дешевле, чем на станции с парогазовой турбиной. Массачусетский технологический институт и Национальная техническая и экологическая лаборатория Айдахо разрабатывают похожий проект для обеспечения высокотемпературного нагрева в промышленных процессах, таких как производство водорода и опреснение.

Нефть сегодня используется главным образом транспортными средствами, однако усовершенствование двигателя внутреннего сгорания уже достигло своего предела. Дальнейшего сокращения загрязнений от транспорта можно добиться только путем отказа от нефти и разработки не загрязняющих



атмосферу двигателей легковых автомобилей и грузовиков. Перезарядка батарей электромобилей просто означает, что вместо подвижных появляются централизованные источники загрязнения (если только этот централизованный источник энергопитания не является ядерным). Топливные элементы, которые сейчас выходят на уровень серийного производства, могут стать более подходящим решением. Выработывая электричество непосредственно из газового или жидкого топлива, они могут подзаряжаться по пути, подобно современным двигателям внутреннего сгорания. При работе на чистом водороде топливные элементы образуют в качестве отходов только воду. Поскольку водород может производиться из воды с использованием тепла или электричества, можно представить себе производящую минимальные выбросы энергетическую инфраструктуру, где используется водород, полученный с помощью ядерной энергетики, для транспорта, электроэнергия и технологическое тепло, выработанные ядерной установкой, — для большинства других применений, а также природный газ и возобновляемые источники энергии — в качестве резервных систем.

Такое широкое использование ядерной энергетики могло бы не

только остановить, но в конечном счете даже повернуть вспять накопление углерода в атмосфере. Пока же значительного сокращения загрязнения атмосферы можно добиться, используя топливные элементы, где применяется природный газ.

ОБЕСПЕЧИВАЯ ЭНЕРГИЕЙ БУДУЩЕЕ

В докладе Королевского общества и Королевской академии для удовлетворения растущих мировых потребностей в энергии предлагается “формирование международного органа по энергетическим исследованиям и разработкам, финансируемого из взносов отдельных государств на базе ВВП или суммарного потребления энергии”. Этот орган был бы “агентством, финансирующим исследования, разработку и демонстрационные испытания повсюду в мире, а не собственно исследовательским центром”. Его ежегодный бюджет мог бы достигать примерно 25 млрд. долл. США — “около 1% совокупных глобальных расходов на энергетику”. Если такой орган действительно намерен реально способствовать развитию эффективного и ответственного энергообеспечения, он должен сосредоточить усилия на ядерном варианте, создании надежной международной системы хранения и переработки ядерного топлива и предоставлении экспертной поддержки по выбору площадок, финансированию и

лицензированию модульных систем ядерной энергетики для развивающихся стран.

По мнению Арнульфа Грюблера, Небойса Накиченовича и Дэвида Виктора, изучающих динамику энергетических технологий, “в большинстве стран и во всем мире доля электричества в энергоснабжении быстро растет”. На протяжении всей истории человечество постепенно переходило к использованию доминирующих видов топлива с меньшим содержанием углерода, последовательно отходя от богатых углеродом источников наибольшего загрязнения. Так, мир перешел от угля (который содержит один атом водорода на один атом углерода и доминировал с 1880 до 1950 гг.) к нефти (которая имеет соотношение водорода и углерода два к одному и доминирует с 1950 г. до настоящего времени). Постоянно растет рыночная доля природного газа (соотношение водорода и углерода — четыре к одному). Однако при ядерном делении углерод вообще не производится.

Физическая реальность — не аргументы о корпоративной алчности, гипотетических рисках, радиационном облучении или удалении отходов — должна служить источником информации при принятии решений, жизненно необходимых для будущего мира. Поскольку для обеспечения безопасности и надежности энергоснабжения важны разнообразие и резервирование запаса мощности, возобновляемым источникам энергии следует отвести определенное место в энергетическом хозяйстве предстоящего столетия. Но центральное место должно принадлежать ядерной энергетике. Несмотря на выдающиеся результаты своей работы, она вместо этого оказалась задвинутой оппонентами в одну сумеречную зону вздорного идеологического конфликта, вместе с абортотом и эволюцией человека. Она заслуживает лучшей участи. Ядерная энергия экологически безопасна, практична и доступна по цене. Это не проблема — это одно из наилучших решений. □

Фото: АЭС “Форсмарк” в Швеции. (Göran Hansson)