

# ЭКОЛОГИЯ И СТРАТЕГИЯ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГЕТИКИ

*В.С. Троицкий, В.Л. Колпащиков*

Прогресс современной цивилизации определяется качественным прогрессом и количественным ростом энергетики. В настоящее время человечество использует главным образом ископаемую химическую энергию (уголь, нефть, природный газ), небольшую долю дает гидроэнергия рек, развивается использование ядерной энергетики деления урана, делаются первые шаги освоения солнечной, ветровой, геотермальной и океанической энергий. На пороге – освоение термоядерной энергии. Таким образом, у цивилизации имеются довольно обширные возможности для удовлетворения энергетических потребностей, которые могут быть осуществлены различными путями. Единственно верный способ выбора пути – прогноз развития энергетики. Он позволяет определить приоритеты использования различных видов энергии, видеть ее дальние горизонты и выработать концепции ее развития, которые в свою очередь позволяют принимать правильные текущие решения по развитию энергетики.

Метод прогнозирования, по нашему мнению, должен основываться на определении пределов роста энергетики, которые определяются допустимым влиянием энергопроизводства на природную среду: на тепловой режим среды обитания, на состав и качество воздуха, воды, почвы и непосредственно на самого человека. Между тем, имеющиеся планы развития энергетики, зачастую не учитывают пределов ее развития. Следствием этого, например, является утверждение, что только ядерная энергия может обеспечить развитие большой энергетики на ближайшую и удаленную перспективу, что сегодня нет альтернативы ядерной энергетике, так как она самая дешевая, экологически более чистая, чем химическая, а ее ресурсы практически неограничены и т. п. Однако дальний прогноз развития энергетики с учетом пределов роста приводит к выводу, что у ядерной энергетики нет глобальной перспективы.

Рассмотрим эти вопросы. Упомянутые выше источники энергии делятся на две большие группы: возобновляемые и невозобновляемые. К возобновляемым относятся все виды энергии, непрерывно действующие в биосфере Земли: солнечная, ветровая, океаническая и гидроэнергия рек. Невозобновляемыми источниками энергии является химическая энергия сжигания всех видов ископаемого топлива, ядерная энергия деления урана и термоядерная. Важное различие этих видов энергии состоит в их влиянии на биосферу. Энергетика на невозобновляемых источниках приводит к дополнительному нагреву среды обитания. Такие виды источников называют иногда добавляющими ввиду того, что их энергия добавляется к энергии нагрева планеты, который обеспечивается Солнцем.

Использование возобновляемых источников энергии не приводит к дополнительному нагреву планеты, поэтому такая энергия называется недобавляющей. Действительно, в этом случае, забирая, например, солнечные лучи в энергетические установки, расположенные на Земле, мы изымаем энергию лучей из цикла нагрева планеты, а затем, после использования, возвращаем планете в том же количестве в виде тепла. Недобавляющую энергию можно назвать безотходной, а добавляющая должна рассматриваться как засоряющая среду обитания. Расчеты показывают, что производство добавляющей энергии, например химической, ядерной, термоядерной в количестве, составляющем всего 1 процент от той, которая получается Землей от Солнца, приведет к увеличению средней температуры биосферы примерно на 1 °С.

По общему признанию такое повышение средней температуры биосферы ведет к глобальным катастрофическим последствиям как для географии и климата Земли, так и для всего животного и растительного мира. Потепление непредсказуемо изменит темп и характер всех происходящих

на Земле процессов. По-видимому, безопасный предел использования добавляющей энергии может составить не более 0,1 процента от мощности, падающей на Землю солнечной энергии, т. е. около 100 миллиардов киловатт. Разумеется, указанное пороговое значение в известной мере условно, однако существование самого теплового барьера безусловно. Сейчас земная цивилизация производит для своих нужд (промышленность, быт, транспорт) добавляющую энергию мощностью 10 миллиардов киловатт, т. е. всего в 10 раз меньше допустимого предела.

Уже многие десятилетия прирост энергопроизводства составляет около 3 процентов в год. При сохранении такого темпа тепловой предел роста добавляющей энергии, соответствующий ее увеличению в 10 раз, будет достигнут через 75 лет. Тогда в конце 21-го столетия рост производства этих видов энергии должен быть прекращен. При этом неизбежно возникает трудный вопрос о квотах энергопроизводства государств. Это будет тяжелым глобальным кризисом цивилизации, имеющим геополитическое значение.

Срок наступления кризиса может быть отодвинут за счет применения энергосберегающих технологий в промышленности, транспорте и теплоснабжении, однако удаление с Земли даже всего промышленного производства, потребляющего 35–40 процентов всей производимой энергии, не устраняет угрозы теплового барьера. Существует один единственный способ преодоления надвигающегося энергетического кризиса – это масштабное использование возобновляемых источников энергии – солнечной, ветровой, океанической. Самым обильным источником недобавляющей энергии является поток солнечного излучения. Без вреда для биосферы, по-видимому, можно изъять около 3 процентов всего потока, падающего на Землю. При расположении установок на суше произойдет затенение около 10 процентов площади поверхности континентов соответствующими установками. Это не должно нанести ущерба растениям, особенно при расположении установок в районах пустынь, занимающих около 15 процентов поверхности суши Земли. Учитывая коэффициент преобразования солнечной энергии, достигающий, в настоящее время 30 процентов, перехват 3 процентов потока позволяет получить энергию мощностью 1000 миллиардов киловатт, которая в 100 раз превосходит современную мощность производства всей энергии, т. е. позволит в 10 раз превзойти тепловой предел производства добавляющей энергии!

По имеющимся оценкам другие виды энергии, такие как ветровая, все виды океанической, могут дать энергию без ущерба для окружающей среды, в несколько раз превосходящую вырабатываемую в мире сегодня. Разумеется, все эти количественные оценки требуют еще самого тщательного экологического обоснования и уточнения.

Из приведенных соображений видно, что при использовании всех резервов добавляющей и недобавляющей энергии, которые в 110 раз превосходят существующие энергопроизводство, доля добавляющей энергии, например, ядерной, термоядерной не может составить более 10 процентов общего энергопроизводства! Правомерно ли при этом говорить о том, что ядерная или термоядерная энергетика может являться доминирующей глобальной энергетикой будущего?

Мыслимой альтернативой развития энергетики за барьер является стабилизация производства добавляющей энергии на предельном уровне в середине 21-го столетия. Рассмотрим этот вариант. Главным фактором роста энергопроизводства является рост численности населения и прогресс качества жизни общества, который тесно связан с потреблением энергии на душу населения. Сейчас на каждого жителя Земли приходится 2 киловатта, в то время как признанная норма качества жизни характеризуется мощностью 10 киловатт на человека, что имеет место сейчас лишь в немногих развитых странах. Напомним, что понятие высокого качества жизни, в его материальной части, характеризуется обеспеченностью чистыми продуктами питания, чистым воздухом и водой, обогреваемым зимой и охлажденным летом жильем, личным и общественным транспортом, бытовыми услугами и т. п. Если все население Земли рано или поздно должно иметь душевое потребление 10 киловатт, то при стабилизации энергопроизводства на уровне теплового барьера 100 миллиардов киловатт численность населения не должна превышать 10 миллиардов человек. Таким образом, развитие энергетики на невозобновляемом топливе при условии создания на Земле для всех людей признанной нормы качества жизни ставит жесткий предел численности населения планеты. Если же сохранится существующий сейчас темп прироста населения около 2 процентов в год, то через 75 лет население Земли учетверится, достигнув 20 миллиардов человек. Отсюда видно: уже сейчас надо думать о сокращении темпов прироста населения примерно вдвое, к чему цивилизация, видимо, совсем не готова. Мы фактически имеем дело с

надвигающимся энерго-демографическим кризисом, радикальным способом исключения которого является развитие недобавляющей энергетики не возобновляемых источниках. При этом необходимость стабилизации численности населения по энергетическому критерию не будет столь срочной, так как открывается десятикратный резерв роста энергетики.

Таким образом, мы получили общие рамки развития энергетики в дальней перспективе, ставящиеся физическими закономерностями и продолжающимися экспоненциальным ростом населения и качества жизни. В этих рамках надо теперь рассмотреть, как и в каких пропорциях между видами энергии развивать энергопроизводство в настоящее и ближайшее время. Для этого необходимо принять во внимание ряд природных ограничений развития той или иной энергетики, к числу которых относятся в первую очередь экологические и ресурсные ограничения.

Энергетические ресурсы принято характеризовать числом лет, в течение которых данного ресурса хватит для производства энергии на современном количественном уровне. Оказывается, если брать оценку количества топлива по всем трем категориям разведанные, возможные, вероятные то угля хватит на 600 лет, нефти на 90, природного газа на 50 лет и урана при применяемых сейчас реакторах на медленных нейтронах на 27 лет. Если сверх трех категорий оценок добавить придуманную специально для урана четвертую категорию запаса потенциальную, то урана хватит на 60 лет. Это мы применим для дальнейшего рассмотрения, хотя таким шагом несколько нарушается корректность сравнения в пользу атомной энергетики. Итак, все виды топлива по всем категориям будут сожжены за 800 лет, если же расход будет вестись на уровне энергетики теплового барьера, то все сгорит за 80 лет! В действительности, видимо, энергопроизводство сначала будет расти в течение 75 лет до достижения барьера и далее останется на этом уровне, тогда все виды используемого сейчас топлива будут истрачены через 130 лет, т. е. в начале 22-го века. Если доля каждого вида топлива в общем энергобалансе будет пропорциональна запасу, то все они исчерпываются одновременно, т. е. каждого топлива хватит на 130 лет. При этом уголь должен обеспечивать 70 процентов выработки энергии, нефть 11 процентов, природный газ – 7 процентов, гидроэнергия 5 процентов.

Следует сказать о несколько особом положении использования урана. Переход на реакторы

на быстрых нейтронах позволяет в 40–50 раз увеличить выход энергии с того же количества природного урана, благодаря наработке нового ядерного топлива плутония. Это равносильно увеличению во столько же раз срока исчерпания запасов урана, который составит теперь 2500 лет, что, кажется, спасает положение. Однако быстрые реакторы, использующие плутоний, отличаются большой реактивностью, быстрыми изменениями выделяемой энергии, что существенно увеличивает возможность аварий с катастрофическими последствиями. Плутоний используется в ядерном оружии. Одна миллионная доля грамма плутония, попавшая внутрь человеческого тела, является смертельной. Распространение АЭС на быстрых нейтронах создает почву для ядерного оружия. Все эти опасные особенности и ряд других побудили США в 1977 году отказаться от использования быстрых реакторов и прекратить ассигнования на разработку и строительство первой в США АЭС с реакторами на быстрых нейтронах.

Таким образом, при отказе от широкого использования быстрых реакторов как чрезвычайно опасных «ядерная энергетика с реакторами на тепловых нейтронах при указанных ресурсах топлива в принципе не может служить крупномасштабным источником энергии... При планируемых темпах развития ядерной энергетики достоверные запасы урана будут исчерпаны уже к концу нашего столетия, а суммарные (достоверные и дополнительные) в первом десятилетии следующего столетия» (Легасов). Таким образом, единственным топливом, на котором можно базировать масштабное развитие энергетики, является уголь. Это справедливо для России, США, Китая и других стран.

Обратимся теперь к экологическим ограничениям различных видов энергетики. Всем известно, что существующая сегодня технология энергетики на угле наносит вред природе и человеку вследствие выбросов летучей золы, сернистого газа, окислов азота и некоторых углеводородов. Природный газ является самым чистым топливом, образуя лишь выбросы окислов азота, однако, практически исключаются соответствующей технологией его сжигания. В настоящее время имеется много апробированных эффективных способов очистки дымовых газов, позволяющих исключить указанные выше выбросы вредных компонентов в атмосферу. Таким образом, чистая энергетика на ископаемых топливах это лишь вопрос выделения необходимых средств на очистку

отходящих газов, которые, по оценкам, значительно скромнее, чем затраты на предотвращение радиоактивных выбросов атомных станций.

В качестве довода против химической энергетики указывается большое потребление ею кислорода и возможность дополнительного нагрева биосферы за счет парникового эффекта, вызываемого накоплением двуокиси углерода в атмосфере Земли от сжигания органического топлива. Расчеты отечественных и зарубежных ученых показывают, что увеличение концентрации двуокиси углерода в два раза приведет к подъему средней температуры биосферы на 1-2 градуса, что как уже говорилось, является катастрофическим. По измерениям относительный прирост концентрации двуокиси углерода составляет 0,3 процента за год. Следовательно, при достижении теплового барьера за счет использования химического топлива концентрация газа через 75 лет возрастёт на 20 процентов. Это даст повышение средней температуры биосферы не более чем на 0,2-0,4 градуса С. С другой стороны, известно: «за сто лет с 1880 по 1980 годы концентрация двуокиси углерода возросла на 12-13 процентов, но климат планеты за это время не потеплел, а скорее похолодел». По-видимому, опасение наступления парникового эффекта в 21-м веке не вполне обосновано, и требуется его дальнейшее изучение, которое должно уточнить допустимые границы роста чистой химической энергетики. Что касается потребления кислорода, то современная топливная энергетика ежегодно потребляет 0,003 процента его запаса в атмосфере. Сжигание всех указанных выше ресурсов химических топлив потребует около 2 процентов общего количества кислорода. Однако большая часть кислорода возвращается через дыхание растений обратно в атмосферу, и мы получаем неощутимо малые изменения его содержания.

В ряде работ приводятся данные о том, что электростанции на угле создают радиоактивное загрязнение местности, большее, чем АЭС при нормальной работе. Радиационное загрязнение обуславливается выбросами с дымовыми газами летучей золы, представляющей собой пылевые частицы осадочных пород земли (песок, глинозем и др.), включенные в уголь и содержащие, как и любая порода, естественные радиоактивные примеси урана, тория, радия и калия. Сам же уголь радиоактивностью не обладает. По данным Научного комитета по действию атомной радиации (НКДАР) при ООН годовая коллективная доза от выбросов всех ТЭС на угле

составляет примерно 200 тысяч человекобэр, а от всех АЭС не менее 100 тысяч человекобэр. Однако весь опыт работы АЭС показывает, что часто происходят так называемые малые аварии, сопровождающиеся дополнительными выбросами, которые здесь не учитываются. Заметим, что приведенные оценки выполнены учетом степени очистки от летучей золы, что уменьшает указанную выше оценку дозы от ТЭС в 20 раз и делает ее пренебрежимо малой по сравнению с дозой от АЭС. В отечественной литературе проводится такое же сравнение с ТЭС, не имеющей современной очистки отходящих газов, о чем скромно умалчивается. Очевидно, что добавочное к фону радиоактивное загрязнение может быть только в том случае, если включенные в уголь осадочные породы и выбрасываемые в виде золы почему-то более радиоактивны, чем в среднем обычная наша почва. Действительно, разве изменится радиоактивность почвы, если мы посыпем ее той же почвой? Другое дело, что имеются угли, в которых радиоактивность минеральных включений выше средней, и даже такая, при которой они пригодны для добычи урана и уже, конечно, тогда непригодны для топок ТЭС. Наконец, приводятся данные существенно большей заболеваемости работников угольного топливного комплекса по сравнению с работниками в ядерной энергетике. Вежливо говоря, такое сопоставление некорректно, оно не отражает только влияние профессии, так как сравниваемые группы людей сильно разнятся по социальному положению (образование, зарплата, медицинское обслуживание, общая культура и т. п.).

Заметим теперь, что сравнение радиационного воздействия на человека естественных радионуклидов почвы с воздействием не существующих в природе, но производимых ядерным циклом нуклидов, не дает истинной картины. Дело в том, что к естественным нуклидам живой мир эволюционно приспособлен. Это выражается, например, в том, что естественные радионуклиды не концентрируются в растениях и животных. Растения имеют в 10-100 раз меньше концентрации естественных радионуклидов, чем в среднем в почве. Обратная ситуация имеет место с нуклидами ядерной энергетике. Известно, что в своей жизнедеятельности растения и животные усваивают кальций, калий. Между тем, весьма опасные для человека долго живущие радиоактивные нуклиды ядерного цикла стронций-90 и цезий-137 по химическим свойствам эквиваленты соответственно кальцию и калию и потому усваива-

ются растениями и животными. В результате в некоторых сельхозрастениях концентрация этих радионуклидов превышает их концентрацию в зараженной почве в 70-100 раз. Другой, более яркий пример имеет место при заражении воды: тогда рыба и водные растения накапливают опасные радионуклиды до концентрации, в десятки и сотни тысяч раз превышающей их концентрацию в воде. Сказанное приводит к тому, что радионуклиды ядерной энергетики попадают через пищевой цикл внутрь тела человека, накапливаясь там и создавая самое опасное внутреннее облучение. Этого, как мы видим, не происходит с естественными радионуклидами почвы. Отсюда видно, что проводимые ранее сравнения радиоактивного действия химической и ядерной энергетики не являются полными и выглядят далеко не в пользу ядерной энергетики. Встречается утверждение, что, например, в Запорожье радиоактивное заражение от угольной ТЭС превышает радиационное загрязнение от АЭС в 4-5 раз. По утверждению атомных энергетиков добавка активности от АЭС составляет не более 1-2 процентов естественного фона. Следовательно, добавка от ТЭС составила 5-10 процентов. Это существенно меньше естественных вариаций фона от места к месту, и проводимое сравнение просто бессмысленно. Таким образом, угольная энергетика по своему радиоактивному воздействию существенно менее опасна, чем ядерная энергетика. Еще меньшую опасность в этом отношении представляет энергетика на нефти и совсем лишенная радиоактивного воздействия энергетика на природном газе.

Экологической особенностью энергетики на ископаемых топливах является то, что она гармонично подключается к естественному глобальному процессу кругооборота двуокиси углерода в природе. Техногенный добавок к этому процессу в ограниченных пределах не приводит к неустрашимым нарушениям и тем более к экологическим катастрофам. Он используется растениями как дополнительное питание, приводящее даже к увеличению урожайности зерновых. В противоположность этому ядерная энергетика на уране запускает в биосфере Земли новый мощный ядерный процесс, который необратимо меняет химический состав веществ на планете, накапливая в среде обитания крайне опасные новые источники облучения, срок действия которых исчисляется десятками тысяч лет. Вследствие этого ядерная энергетика является наиболее потенциально опасной из всех до сих пор известных человечеству. При так называемой нормальной работе ядерных

энергетических установок влияние этого нового процесса в биосфере достаточно ослаблено принимаемыми мерами. Однако если эти меры разрушаются, то может возникнуть глобальная катастрофа типа Чернобыльской. Общеизвестно, что абсолютной гарантии от катастрофических аварий АЭС не существует. Оценки вероятности таких событий, связанных, к тому же, с непредсказуемыми действиями персонала, являются субъективными и потому не могут быть характеристикой безопасности. Кроме возможного катастрофического радиационного воздействия, ядерная энергетика при «нормальной работе» подвергает население непрерывному облучению малыми дозами, следствием которого является возникновение онкологических и генетических заболеваний. Считается, что любая сколько угодно малая доза облучения создает определенную вероятность заболевания, называемую риском. По данным НКДАР всеми АЭС мира, имеющими электрическую мощность 0,25 миллиарда киловатт, создается облучение населения Земли, средняя индивидуальная доза которого равна одному миллибэру за год, что в сто раз меньше дозы от естественного радиационного фона. Рост полной мощности всех АЭС мира до барьерной, т.е. в 150 раз, увеличивает дозу до 150 миллибэр. Доза облучения человека за поколение (30 лет) станет 4,5 бэра. Это приведет к 90 смертельным исходам от рака на один миллион человек и даст, на каждый миллион живых новорожденных, 680 детей с серьезными наследственными дефектами. Успокаивая население, обычно указывают, что за счет рентгенодиагностики каждый человек за те же 30 лет получает дозу в среднем 4,5 бэра, поэтому не произойдет ничего страшного, если к этому столько же добавит ядерная энергетика. Такой ход рассуждений демонстрирует искажение истины с помощью средних данных. В рассматриваемом случае известно, что для детей и беременных женщин рентгенодиагностика, ввиду ее онкологической и генетической опасности, как правило, не применяется, в то время как от АЭС определенную дозу они получают неизбежно. Итак, по экологическим соображениям атомная энергия не может и не должна выполнять роль масштабной энергетики, ее уровень, видимо, не должен составлять более сотой доли энергии теплового барьера.

Приведенное выше понятие риска используется для принятия решений. В частности, применение новой техники считается социально приемлемым, если риск, вносимый ею, приводит в итоге

к полезным эффектам, снижающим суммарный риск в обществе. С точки зрения этого принципа замена масштабной очищенной химической энергетики на масштабную ядерную не выдерживает критики, поскольку риск облучения от первой, как показано выше, отсутствует. Тем более ядерная энергетика проигрывает в сравнении с использованием возобновляемых источников. Высказанный Научным Комитетом по действию атомной радиации принцип, по существу, утверждает приоритет экологии и жизни человека над всеми другими и, в частности, экономическими. Однако часто приоритет атомной энергетики аргументируется ее дешевизной по сравнению со всеми другими.

На основании проведенного анализа можно более определенно дать ответ о том, какие источники энергии и в какой мере целесообразно использовать и на ближайшие 25-50 лет, пока должна будет создаваться возобновляемая энергетика. Для больших стран и регионов, по-видимому, примерно оптимальна приведенная выше среднемировая пропорция использования топлив, при которой их исчерпание происходит одновременно. Однако ценность газа и особенно нефти как сырья для химической промышленности требует уменьшения их доли в энергобалансе. Эта тенденция неизменно осуществляется в США с 1970 года. Так, доля угля в энергобалансе за этот интервал растет равномерно с 13 процентов до 23 процентов, нефти падает с 46 процентов до 41 процента, газа падает с 36 процентов до 21 процента, причем гидроэнергии остается неизменной на уровне 5,0 процентов, а доля атомной возрасла до 10 процентов далее не меняется. Под создание экологически чистой угольной энергетики в США проведена огромная работа, в результате которой разработаны новые технологии сжигания угля, исключая выбросы вредных газов, и построена соответствующая техника. В России за этот же срок, несмотря на ресурсные богатства угля, происходит снижение его доли с 40 процентов до 12 процентов, доля газа с 22 процентов поднимается до 37 процентов, а доля неф-

ти практически остается на уровне 33 процентов, доля ядерной энергетики быстро растет. Слабое использование угля в энергетике России при экологически устаревшей технологии его сжигания, видимо, оправдано, однако может быть следует закупить в США соответствующую технику сжигания угля и обеспечить его большее использование, исключая наращивание ядерной энергетики и сберегая нефть и газ.

В перспективе, разумеется, нельзя ориентироваться на полное исчерпание запасов. Сжигать все до конца можно лишь не думая о будущих поколениях, о судьбе цивилизации на столетия. Оставлять для потомков опустошенную планету аморально. Поэтому из отпущенных ресурсов на 130 лет допустимо использовать лишь небольшую часть, что может быть достигнуто только масштабным использованием возобновляемых источников энергии. При этом аккумуляция энергии является одним из основных вопросов современной энергетики. Таким образом, нравственные, экологические, ресурсные, социальные императивы требуют немедленного развития и использования солнечной, ветровой, океанической энергий. Все это диктует необходимость уже к середине 21-го века довести мировое энергопроизводство за счет возобновляемой энергии, в основном солнечной и ветровой, хотя бы до уровня, сравнимого с мировым сегодняшним энергопроизводством. Чтобы за 60-70 лет достичь этого, нужно вводить в действие во всем мире в среднем в год мощности, равные 100-150 миллионам киловатт. Это – грандиозная задача, нужно еще провести массу исследований, построить и испытать опытные образцы и системы. Только создание глобальной программы по использованию возобновляемых источников энергии, аналогичной космической или атомной программы, может дать успех. В противоположность этим программам, в которых государства действовали раздельно, Глобальная Программа Чистой Энергии может стать впечатляющим примером широкого сотрудничества наций, направленного, по существу, на выживание человечества.