

РАЗЛИЧНЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ В СРАВНИТЕЛЬНОЙ СТАТИСТИКЕ

Человечество живет в едином, взаимосвязанном мире, и наиболее серьезные энергетические, экологические и социально-экономические проблемы приобрели глобальный масштаб.

Развитие энергетики связано с развитием человеческого общества, научно-техническим прогрессом, который, с одной стороны, ведет к значительному подъему уровня жизни людей, но с другой – оказывает воздействие на окружающую человека природную среду. К числу важнейших глобальных проблем относятся:

- рост численности населения Земли и обеспечение его продовольствием;
- обеспечение растущих потребностей мирового хозяйства в энергии и природных ресурсах;
- охрана окружающей среды, в том числе и здоровья человека от разрушительного антропогенного воздействия технического прогресса.

Сегодня в индустриальных странах сосредоточено 16 % населения и 55 % энергопотребления в мире. В развивающихся странах – 84 % населения и 45 % энергопотребления.

Мировые запасы нефти: Саудовская Аравия – 26 %, Ирак – 11 %, Иран – 9 %, Кувейт – 9 %, Россия – 5 %, США – 2 %.

Природный газ: Персидский залив – 33 %, Россия – 33 %.

Уголь: США – 25 %, Россия – 16 %, Китай – 12 %.

Человечество уже в 20 раз превысило предел возможности своей энергетики, допустимой для сохранения устойчивости биологических систем и уже вышло на порог саморазрушения биосферы. Демографическая емкость Земли составляет 0,5–1,5 млрд человек. Сейчас население земли уже превысило 6 млрд человек.

Потребление энергии является одним из важных факторов развития экономики и уровня жизни людей. За последние 140 лет потребление энергии во всем мире возросло примерно в 20 раз, а численность населения планеты – в 4 раза.

С учетом темпов нынешнего роста численности населения и необходимости улучшения уровня жизни будущих поколений Мировой энергетический конгресс прогнозирует рост глобального потребления энергии на 50–100 % к 2020 году и на 140–320 % к 2050 году.

По данным Мирового энергетического конгресса, в первые 20 лет XXI века рост энергопотребления будет выше, чем за весь XX век при увеличении населения до 8 млрд человек.

Такие экологические угрозы, как парниковый эффект и необратимые изменения климата, истощение озонового слоя, кислотные дожди (осадки), сокращение биологического разнообразия, увеличение содержания токсичных веществ в окружающей среде, требуют новой стратегии развития человечества, предусматривающей согласованное функционирование экономики, промышленности и экосистемы.

В феврале 2007 года МГКИ (межправительственная группа по климатическим изменениям) выпустила первый из своих четырех докладов.

В докладе, который является результатом работы 1200 экспертов по климату из 40 стран, проанализированы все исследования за период после оценки, выполненной МГКИ в 2001 году. Согласно 21-страничному резюме его выводов, с 90%-ной уверенностью можно утверждать, что изменение климата определяют сжигание органического топлива и другая деятельность человека. В докладе который был одобрен официальными экспертами из 113 стран, говорится, что "тенденция к потеплению несомненна".

Некоторые ключевые выводы таковы:

- * Весьма вероятно, что деятельность человека приводит к глобальному потеплению.

- * Вероятный подъём температуры к концу столетия составит от 1,8 до 4,0⁰С

- * Уровень моря, вероятно, повысится на 28-43 см.

- * Летний ледяной покров арктических морей, вероятно, исчезнет во второй половине столетия.

- * Весьма вероятно, что в некоторых частях мира участятся необычно теплые периоды.

- * Изменение климата, вероятно, будет приводить к увеличению интенсивности тропических циклонов (тайфунов и ураганов).

- * Одиннадцать из последних двенадцати лет (1995-2006 годы) входят в число 12 наиболее теплых лет за весь период регистрации температуры на поверхности Земли (начиная с 1850 года) [51].

Что же такое энергия вообще? Согласно современным научным представлениям, энергия – это общая количественная мера движения и взаимодействия всех видов материи, которая не возникает из ничего и не исчезает, а только может переходить из одной формы в другую в соответствии с законом сохранения энергии.

Энергия может проявляться в различных формах: кинетическая, потенциальная, химическая, электрическая, тепловая, ядерная и др.

В природе существуют возобновляемые и невозобновляемые источники энергии.

Возобновляемые энергетические ресурсы – это природные ресурсы, запасы которых или восстанавливаются быстрее, чем используются, или не зависят от того, используются они или нет.

Возобновляемые источники энергии – это, например, энергия биомассы, ветра, солнца, морских волн и течений, тепло земли и гидроэнергия.

Уголь, нефть, газ, торф, уран относятся к невозобновляемым источникам энергии и при использовании они теряются безвозвратно.

Энергетика на органическом топливе и перспективы ее развития

Нефть. По прогнозам Международного энергетического агентства потребности в первичных энергоносителях в первом десятилетии XXI века будут удовлетворены в следующих соотношениях:

- нефть – не более 40 %,
- газ – менее 24 %,
- твердые виды топлива (в основном уголь) – менее 30 %,
- ядерная энергия – 7 %,
- гидроэнергетика – 7 %,
- возобновляемые виды энергии – менее 1 %.

Региональное потребление первичных энергоносителей может иметь отклонения от мировых тенденций [3,25,29].

Основное количество энергии человечество получает и будет получать в ближайшем будущем, расходуя невозобновляемые источники.

В табл. 1–2 Приложения рассматриваются различные виды энергии (уголь, нефть, природный газ, солнечная энергия, гидроэнергия, энергия ветра) в сравнительной статистике.

Несмотря на огромное разнообразие видов топлива, основными источниками энергии остаются нефть, природный газ, и уголь. Первые два ископаемых топлива исчерпаемы в ближайшем будущем. Жидкие виды топлива (на основе, прежде всего нефти) обладают особой ценностью для транспортных средств (основных потребителей энергии), в силу удобства доставки этого вида топлива, поэтому в настоящий момент ведутся исследования по использованию угля для производства жидких топлив, в том числе и моторных.

Огромная сухопутная протяженность нашей страны, особенно в долготном направлении (8 часовых поясов), обрекает экономику России на дорогой железнодорожный грузооборот большей части валового продукта (около 80%) – продукта, получаемого, к тому же, с повышенными затратами из-за более суровых климатических условий.

Только по этим причинам жить в России, несомненно, труднее. Для того, чтобы обеспечить такой же уровень жизни, как, например, в Западной Европе или, тем более, в США, удельные средние затраты энергии при прочих равных условиях (производительность труда, технологии и т. д.) должны быть в 2–3 раза выше. Причем при обязательном условии, что используемые энергоносители будут, как минимум, не дороже, что невозможно при использовании традиционных энергоресурсов.

Непонимание этого рождает иллюзии и мифы. Какими бы гигантскими запасами нефти и газа в северных районах не располагала Россия, сравнимые социально-экономические условия не возможно обеспечить при использовании только органического топлива. К тому же за последний год появился новый фактор международного права, сдерживающий его использование, – экологический.

Необоснованной является надежда на возможность использования несметных сибирских природных богатств, оцениваемых десятками, а то и сотнями триллионов долларов. Освоение их потребует сопоставимых по масштабу затрат.

Богатство страны и ее народа обеспечивается не наличием природных ресурсов, а их экономической доступностью и рентабельностью использования.

Нынешняя структура электроэнергетики, в которой производство 2/3 ее продукции базируется на нестабильных факторах, бесконечных поисках новых месторождений неизбежно дорогих энергоресурсов, заботах, связанных с их истощением, мировой и национальной политической конъюнктуре, связанной с традиционными энергоносителями, создает значительные трудности в планировании развития энергоснабжении страны.

Мировая добыча нефти в настоящее время составляет около 74-76 млн. баррелей в день. Таким образом, при нынешних темпах потребления, разведанной нефти хватит примерно на 40 лет, неразведанной – ещё на 10–50 лет. Следует учитывать также и рост потребления нефти. За последние 35 лет глобальное потребление выросло с 20 до 30 млрд. баррелей в год.

Из-за разгерметизации трубопроводов и аварий с другими транспортными средствами (танкеры в основном) ежегодно на поверхность земли и в мировой океан вытекает 10 – 15 млн. т нефти. Аналогично происходят потери газа. Утечки нефти вызывают локальные экологические катастрофы с многолетними последствиями.

Из нефти получают ценные продукты, главным образом моторные топлива, технические масла и растворители. Кроме того, нефть является источником ценного сырья для производства синтетических каучуков и волокон, пластмасс, ПАВ, моющих средств, пластификаторов, присадок, красителей и др., поэтому использовать ее в качестве топлива, учитывая оставшееся количество, экономически совершенно нецелесообразно.

Цены на нефть, как и на любой другой товар, определяются соотношением спроса и предложения. Цены на нефть достигли 115 \$ за баррель и продолжают расти.

Природный газ. Основные инвестиционные вложения в топливодобывающей газовой промышленности приходятся на газопроводы. Почти все промысловые и межпромысловые, а также значительная часть магистральных газопроводов располагаются в отдаленных районах Севера, где прокладка сопряжена со значительными дополнительными затратами. Выделяя долю затрат на газопроводы, соответствующую доле сжигаемого в ТЭС газа в общем объеме добываемого "голубого" топлива и относя эти затраты к электрической мощности тепловых электростанций, можно получить сравнительную оценку инвестиционных затрат на топливное обеспечение электроэнергетики на газе. Кроме того, следует отметить, что срок службы основных фондов в газодобывающей промышленности (в

первую очередь трубопроводов), в несколько раз меньше, чем в ядерно-энергетической.

Несмотря на увеличение объема добычи газа, удельные инвестиции в его добычу растут примерно на 30 процентов за 5 лет. Это означает, что каждые 5 лет как минимум на 30 процентов будет увеличиваться топливная составляющая стоимости электроэнергии. Иными словами, примерно к середине XXI века топливная составляющая электроэнергии на газовых электростанциях увеличится больше, чем на порядок. Соответственно, возрастут и цены на электроэнергию.

Газотранспортная система ЕСГ включает 150,2 тыс. км магистральных газопроводов (с учетом газопроводов вне ЕСГ протяженность газопроводов России более 151 тыс. км). По экологическому ущербу он занял лидирующее положение. Утечки газа из газопроводов вызывают глобальное отравление атмосферы парниковым газом – метаном. Норма его утечки установлена в 2%, а фактически утечка составляет 6%. Возгорание природного газа приводит к мощной эмиссии другого парникового газа – CO₂.

В западной Сибири, например, где концентрация трубопроводов достаточно велика, ежегодно происходят тысячи аварий трубопроводов. Это значит, что при современном уровне добычи газа порядка 600 млрд. м³ эмиссия метана в атмосферу составляет ежегодно около 30 млн. м³. Финансовые потери от утечек нефти и газа оцениваются в 200 – 270 млн. долларов ежегодно.

Большой ущерб наносят утечки нефти и газа из трубопроводов, проложенных через водоемы – озера, реки, болота. Они убивают все живое.

Нынешнее состояние трубопроводного хозяйства таково, что затраты на ликвидацию последствий от аварий громадного нефтегазового трубопроводного хозяйства увеличиваются с каждым годом. По существу, все три сферы окружающей природной среды испытывают мощное техногенное воздействие. Происходит множество аварий. Все более очевидной становится опасность разветвленной доставки газа как для бытового, так и промышленного потребления.

Изучение показывает, что экономическим оправданием беспрецедентно большого масштаба добычи газа в России может служить только экспорт с его высокими мировыми ценами, окупающими внутренние затраты на добычу и транспорт газа. Здесь-то и кроется большая слабость экономики российского газа. Практически любое его применение даже в традиционных секторах российской экономики может быть осуществлено только на дотационной основе, что и происходит на практике.

Экономически целесообразно использовать газ в газохимическом производстве России, обеспечивающем внутренний и внешний рынок полимерами. Сегодня уже многие нефте- и газохимические производства стран, не имеющих собственного сырья, становятся неконкурентоспособными из-за высоких темпов роста цен на углеводородное сырьё.

Уголь. До 2020 г количество атомных энергомоощностей возрастет в 2,3 раза, угольных – в 1,7 раза. В итоге к 2020 г доля газовой генерации в общем энергобалансе страны составит около 33÷34 %, угольная генерация вырастет с 25 до 32%, ядерная с 16 до 21%. Атмосферные выбросы от угольных станций стали причиной так называемых кислотных дождей, которые губят растительность, почву, водоёмы и, прежде всего, здоровье людей. Чтобы оценить объёмы выпадающих кислотных дождей достаточно представить себе, что одна ТЭС мощностью 1000 МВт, работающая на угле с содержанием серы около 3,5 %, несмотря на применение средств очистки, выбрасывает в атмосферу 140 тыс. т сернистого ангидрида в год, из которого образуется около 280 тыс. т серной кислоты. Двоокись азота способна вызвать отек легких. Сернистый ангидрид поражает верхние дыхательные пути. Канцерогенное действие тяжёлых металлов, выбрасываемых вместе с золой, в комментариях не нуждается. Итак, в результате сжигания угля возникает целый букет канцерогенных и мутагенных веществ. Ежегодный объём золошлаковых отходов ТЭС СНГ в настоящее время превышает 120 млн т. С поверхностей золоотвалов ветер поднимает золу, образуя пыльные бури. Использовать золу в качестве строительного материала не рекомендуется из-за повышенного радиационного фона.

Мало кто знает, что в процессе сжигания угля происходит радиоактивное загрязнение окружающей среды. При сжигании угля, содержащиеся в нем радионуклиды (уран, торий, радий, полоний-210, свинец-210 и т.д.) концентрируются в золе. Поэтому ТЭС являются более серьёзным источником внешнего и внутреннего облучения населения, проживающего на прилегающих территориях, чем нормально функционирующие АЭС.

ТЭЦ на угле ($N_{эл}=1000$ МВт) в течение года выделяет больше радиоактивности, чем АЭС такой же мощности, а в накопившейся золе содержится столько урана-235, что его могло бы хватить для производства двух ядерных бомб, если бы его удалось выделить.

Мировой выброс урана и тория от сгорания угля составляет около 40000 т ежегодно.

В России ТЭЦ на угле выбрасывают радионуклиды, превышающие 1000 т в год по урану.

Выбросы урана с угольной золой от ТЭЦ-4 г. Новосибирска превышает выброс урана от завода химических концентратов (завод изготавливает тепловыделяющие элементы для ядерных реакторов) в 7,5 раза.

Экспериментально установлено, что индивидуальные дозы облучения в районе расположения ТЭС мощностью 1 ГВт (эл) превышают аналогичную дозу вблизи АЭС в 5–10 раз.

Стоимость перевозки угля на угольные ТЭЦ в европейской части России выше, чем стоимость самого угля. Для парогазовых станций затраты на топливо составляют 60–75 % от общей стоимости выработки электроэнергии, в то время как на АЭС – до 15 %.

Сжигание кислорода в атмосфере Земли. На сжигание 1 кг угля уходит 2 кг атмосферного кислорода, тогда как АЭС производит энергию, «не потребляя» кислород.

Специального внимания заслуживает вопрос о выбросах углекислого газа. При дыхании людей в атмосферу было выделено в 2000 году до 0,9–3,5 млрд т в год. За счёт сгорания угля – до 21 млрд т/год. Т.к. углекислый газ поглощает инфракрасное излучение, происходит аккумуляция части тепла в атмосфере, которое в противном случае рассеялось бы в космосе. Это приводит к повышению температуры. По мнению 49 ученых, лауреатов Нобелевской премии, последствия усиления парникового эффекта на планете могут быть сравнимы лишь с последствиями глобальной ядерной войны.

Возобновляемые источники энергии и их ресурсы

Биомасса - очень широкий термин, которым называют любой вид растительных отходов. Сюда относят и древесные, и сельскохозяйственные отходы, а так же некоторые виды зерновых, выращенных специально для использования в качестве биотоплива.

Как используется биотопливо?

Во всем мире биотопливо – преимущественно это продукты из древесины, сжигается вместе с углем на теплоэлектростанциях. Этот процесс называется попутным сжиганием, поскольку вместо одного вида топлива используется два. Попутное сжигание используется в различных видах угольных бойлеров. Чтобы получить максимум от использования биотоплива в конструкцию бойлеров, необходимо внести лишь небольшие изменения. Наиболее эффективный способ - добавлять биотопливо после распыления угля.

В 2005 году в странах Европейского союза 4% энергии получали, используя биотопливо. Лидерами в этом были Финляндия и Швеция: 16 и 20% энергии соответственно. Проекты по использованию биоотходов развиваются в Азии, чтобы заменить до сих пор широко используемое дерево. Биотопливные проекты так же развиваются в Африке.

В 2002 году в США объем биоэнергии составлял 9733 мегаватта. Большинство видов биотоплива попутно сжигается вместе с углем для достижения базовой мощности - устойчивого электроснабжения (энергии, необходимой для обеспечения повышенного спроса во время пиковых нагрузок). Биоэнергия обеспечивает более 4% общего энергопотребления США. В США биотопливо превзошло гидроэлектростанции как возобновляемый источник энергии.

Очень часто биотопливо используется промышленностью, которая его и создает. К примеру, деревообрабатывающая промышленность сжигает собственные древесные отходы, чтобы получать пар и электроэнергию, необходимые для работы фабрики. К отходам относятся древесные опилки,

неиспользуемые ветки и щепки. Лесопромышленность получает более 50% необходимого ей электричества, используя собственные отходы. То же самое касается бумажной промышленности.

Другой вариант использования биомассы - получения биотоплива.

Методом пиролиза из биомассы получают биотопливо, метан, водород. Например, германская компания производит SunDiesel — топливо для дизельных автомобилей. В этой технологии возможно использование различного сырья: отходы древесины, солома, кукурузная шелуха и т. д. Из пшеничной соломы получается до 58 % биотоплива, 18 % угля и 24 % газов.

Крахмал или сахаросодержащие злаковые превращаются в этиловый спирт: этанол. В Бразилии большая часть транспорта заправляется этанолом. Перевод транспорта на этанол начался в середине 1970-х, когда впервые повысились цены на бензин. Лидеры бразильской промышленности решили снизить зависимость страны от нефти. Этаноловая промышленность развивалась медленно, год за годом. В Бразилии выращивается сахарный тростник, он ферментируется и превращается в этанол. Бразильские автомобили должны быть универсальными, то есть работать и на этаноле, и на бензине. Потребители делали выбор сами, основываясь на цене топлива.

Вскоре опыт Бразилии стали перенимать другие страны. Производство этанола увеличивается в Китае и Европейском союзе. В США в 2004 году производилось 12,9 млрд. литров этанола, что почти в два раза больше показателя 2002 года. Производимый этанол добавляется в бензин для увеличения октанового числа и снижения выбросов. В США источником этанола является кукуруза. Злаковые дают меньше этанола, чем сахарный тростник или свекла, на земли выход этанола меньше в два раза.

Альтернативой кукурузе как источнику этанола в США может быть прутьевидное просо. Родина этого растения - Северная Америка, просо является более эффективным источником этанола, нежели кукуруза. Использование этого злака находится в стадии опробации.

В США для экспериментальной заправки городских автобусов используется смесь бензина и этанола, называемая Е-дизельным топливом. По мере роста цен на бензин, этанол к автомобилям, работающим на этаноле продолжает увеличиваться.

Потребление биодизельного топлива так же растет и в Европе. Биодизельное топливо получается из растительного масла, прошедшего так называемую трансэфиризацию. Животный жир и ресторанные отходы так же могут быть превращены в биотопливо. Это биотопливо в ближайшие дни может полностью заменить дизельного топлива или использоваться в виде смеси: 20% биотоплива и 80% дизельного. В 2005 году в Европейских странах произведено более 3 миллионов метрических тонн биотоплива. Самым крупным потребителем и производителем является Германия. В мире начинают появляться специальные программы по популяризации использования биотоплива.

У использования биомассы в качестве топлива есть свои преграды. Как и в случае с ископаемым топливом, сжигание вызывает образование CO_2 . Однако ископаемое топливо выделяет CO_2 миллионы лет, создавая избыток CO_2 в атмосфере. В противоположность CO_2 , выделяемый биомассой при сжигании, поглощается растениями. Биотопливо считается "углеродно нейтральным".

В биологическом уравнении ископаемые виды топлива все еще играют ключевую роль. Они используются на всех этапах получения биомассы: выращивании растений, их сборе, доставке и обработке. Биомасса не станет углеродно нейтральной до тех пор, пока на всех этапах не будет использоваться возобновляемое топливо. Когда это произойдет - загадка для всех. Пока биотопливо позволяет сократить выбросы CO_2 , так как в процессе использования биомассы в атмосферу выбрасывается меньше CO_2 .

В будущем биомассы могут заменить нефть, газ и уголь во многих областях. Среди вещей, которые предстоит усовершенствовать, - фабрики по очистке биомассы. Такие фабрики будут принимать различные виды биотоплива и создавать постоянный запас для использования в различных областях промышленности. На одной из рафинадных фабрик в качестве основы для ферментации используются сахар в виде целлюлозы и лигнин из растений, в результате получается этанол.

В качестве биотоплива может использоваться дерево и различные виды трав. На других рафинадных заводах для стандартизации биомассы используется термохимический подход, превращающий массу в более эффективные жидкость или газ.

Исследователи видят будущее биомассы в замене нефти, как источника многих химикатов, используемых в современном мире. Вещи из пластика, краски и клеи можно производить не из нефтепродуктов, а из биомассы.

В 2004 году во всём мире производили электричество из биомассы электростанции общей мощностью 35 000 МВт.

Из навоза животных методом метанового брожения получают биогаз. Биогаз на 55—75 % состоит из метана и на 25—45 % из CO_2 . Из тонны навоза крупного рогатого скота (в сухой массе) получается 250—350 кубических метров биогаза. Мировой лидер по количеству действующих установок по производству биогаза — Китай.

В отличие от газификации угля, газификация биомассы происходит при более низкой температуре. Из 1 килограмма биомассы можно получить до 0,6 килограмма биогаза, который на 18—20 % состоит из водорода.

Россия ежегодно накапливает до 300 млн. тонн органических отходов в сухом эквиваленте, из них 250 млн. т в сельскохозяйственном производстве, 50 млн. т в виде бытового мусора.

Для того, чтобы произвести из навоза биогаз для выработки 1000 Мвт электрической энергии требуются площади $80 \div 100 \text{ км}^2$, на которых должны

размещаться 80 млн свиней или 800 млн птиц. (Entergy Nuclear, Genes 4/ANP 2003, Kyoto)/

Энергия ветра. Наиболее перспективными местами для использования энергии ветра считаются прибрежные зоны.

Италия, Великобритания и Япония имеют примерно по 1000 МВт. установленных мощностей за счет этого источника энергии.

Около 20% электричества Дании вырабатывается с помощью ветра. Индия в 2005 году получает из энергии ветра около 3% всей электроэнергии. Страны Евросоюза в 2005 году вырабатывали около 3% потребляемой электроэнергии из энергии ветра.

Запасы энергии ветра более чем в сто раз превышают запасы гидроэнергии всех рек планеты.

Ветроэнергетика является нерегулируемым источником энергии. Выработка ветроэлектростанции зависит от силы ветра, фактора, отличающегося большой нестабильностью. Соответственно, выдача электроэнергии с ветрогенератора в энергосистему отличается большой неравномерностью как в суточном, так и в недельном, месячном, годовом и многолетнем плане. Учитывая, что энергосистема сама имеет неоднородности нагрузки (суточные и сезонные пики и провалы энергопотребления), регулировать которые ветроэнергетика, естественно, не может, введение значительной доли ветроэнергетики в энергосистему приводит к ее дестабилизации. Очевидно, что ветроэнергетика требует значительного резерва мощности в энергосистеме (например, в виде газотурбинных электростанций), а также механизмов сглаживания неоднородности их выработки (в виде ГЭС или ГАЭС). Данная особенность ветроэнергетики существенно удорожает получаемую от них электроэнергию.

Строительство ветряных установок усложняется необходимостью изготовления лопастей турбины больших размеров. Так, по проекту ФРГ установка мощностью 2–3 МВт должна иметь диаметр ветрового колеса 100 м, причем она производит такой шум, что возникает необходимость отключения ее в ночное время.

В штате Огайо была построена крупнейшая в мире ветросиловая установка 10 МВт. Проработав несколько суток, была продана на слом по цене 10 дол за тонну. В радиусе нескольких километров жить стало невозможно из-за инфразвука, совпадающего с альфа-ритмом головного мозга.

К серьезным негативным последствиям использования энергии ветра можно отнести помехи для воздушного сообщения и для радио- и телевидения, нарушения путей миграции птиц, климатические изменения вследствие нарушения естественной циркуляции воздушных потоков.

Для того, чтобы обеспечить производство 15% энергии в Германии с помощью ветроэнергетики, в Северном море надо вплотную поставить

ветряки на площади 2500 км², которые будут потеряны для какого-то другого использования.

Кроме того, в условиях возрастающей террористической угрозы один террорист на моторной лодке способен все это «вырубить» за 15 минут.

Средняя ветровая турбина в Германии имеет мощность 800 кВт и коэффициент использования мощности (КИМ) 22 %. Для производства 160 млн кВт·ч нужно 100 тыс турбин [64].

Чтобы достичь текущего уровня производства электроэнергии во Франции с применением энергии ветра потребуется 20 тыс км² земли (4% территории страны). Площадь занимаемая французскими АЭС – несколько десятков км².

Солнечная энергия.

Солнечная энергетика построена на фотопреобразовании световой энергии в электричество. Оправдано использование солнечных батарей на космических аппаратах – на МКС, их площадь достигает 4 тысяч кв.м. На производство батареи надо затратить больше энергии, чем она способна произвести за срок службы. Основным материалом является кремний с чистотой 99,99% который стоит 40\$/кг, фотопреобразователи имеют КПД всего 17%. Себестоимость более 40 центов/ кВт·час при средней себестоимости электроэнергии 2 цента/ кВт·час.

Техническое использование солнечной энергии осуществляется в нескольких формах: применение низко- и высокотемпературного оборудования, прямое преобразование солнечной энергии в электрическую на фотоэлектрическом оборудовании.

Принципиальными особенностями солнечного излучения являются огромные потенциальные ресурсы (в 4000 раз превышает прогнозируемые энергопотребности человечества в 2020 году). Поток солнечной энергии на поверхности Земли существенно зависит от широты и климата. В разных местах среднее количество солнечных дней в году может различаться очень сильно. Солнечная электростанция не работает ночью и недостаточно эффективно работает в утренних и вечерних сумерках. При этом пик электропотребления приходится именно на утренние и вечерние часы. Кроме того, мощность электростанции может резко и неожиданно колебаться из-за смены погоды. Для преодоления этих недостатков нужно или использовать эффективные электрические аккумуляторы (на сегодняшний день это нерешённая проблема), либо строить гидроаккумулирующие станции, которые тоже занимают большую территорию, либо использовать концепцию водородной энергетике, которая также пока далека от экономической эффективности. Оценивая потенциал солнечного источника энергии для России можно сказать, что среднесуточная интенсивность солнечного излучения для средней полосы европейской части России составляет 150 Вт/м², что в 1000 раз меньше тепловых потоков в котлах ТЭС.

К сожалению, пока не видно, какими путями эти огромные потенциальные ресурсы можно реализовать в больших количествах.

Практическая реализация концентрации солнечной энергии требует отчуждения огромных земельных площадей. Очевидными **недостатками** солнечной энергетике являются:

- дороговизна солнечных фотоэлементов;
- поверхность фотопанелей нужно очищать от пыли и других загрязнений, что с учетом их площади в несколько квадратных километров может вызвать затруднения;
- кроме того необходимо учитывать, что эффективность фотоэлектрических элементов заметно падает при их нагреве, поэтому возникает необходимость в установке систем охлаждения, обычно водяных;
- срок службы элементов ограничен, и через 30 лет эксплуатации эффективность фотоэлектрических элементов начинает снижаться;
- несмотря на экологическую чистоту получаемой энергии, сами фотоэлементы содержат ядовитые вещества, например, свинец, кадмий, галлий, мышьяк и т. д., а их производство потребляет массу других опасных веществ;
- современные фотоэлементы имеют ограниченный срок службы (30—50 лет), и их массовое применение поставит в ближайшее же время сложный вопрос их утилизации, который тоже не имеет пока приемлемого с экологической точки зрения решения;
- недостаточным является и КПД солнечных элементов.

Для размещения СЭС мощностью 1 ГВт (эл) в средней полосе европейской части необходима минимальная площадь при 10 % КПД в 67 км². К этому надо добавить еще и земли, которые потребуется отвести под различные промышленные предприятия, изготавливающие материалы для строительства и эксплуатации СЭС.

Цены на фотоэлементы

Минимальные цены на фотоэлементы (начало 2007 г.)

Монокристаллические кремниевые — 4,30 \$/Вт установленной мощности.

Поликристаллические кремниевые — 4,31 \$/Вт установленной мощности.

Тонкоплёночные — 3,0 \$/Вт установленной мощности.

Стоимость кристаллических фотоэлементов на 40—50 % состоит из стоимости кремния.

Таблица. Итоги развития фотоэлементной отрасли

№	Страна	Суммарные мощности фотоэлектрических станций, МВт. 2010 год
1	Германия	17320
2	Испания	3892

№	Страна	Суммарные мощности фотоэлектрических станций, МВт. 2010 год
3	Япония	3617
4	Италия	3502
5	США	2519
6	Чехия	1953
7	Франция	1025
8	Китай	893
9	Бельгия	803
10	Ю. Корея	573
11	Австралия	504
Весь мир	-	39778

На начало 2010 года общая мировая мощность фотоэлементной солнечной энергетики составила пока только около 0,1 % общемировой генерации электроэнергии.

Распространение солнечной энергетики

В 2010 году 2,7 % электроэнергии Испании было получено из солнечной энергии.

В 2010 году 2 % электроэнергии Германии было получено из фотоэлектрических установок.

В 2011 году около 3 % электроэнергии Италии было получено из фотоэлектрических установок.

В декабре 2011 года на Украине завершено строительство последней, пятой, 20-мегаваттной очереди солнечного парка в Перово, в результате чего его суммарная установленная мощность возросла до 100 МВт. Солнечный парк Перово в составе пяти очередей стал крупнейшим парком в мире по показателям установленной мощности. За ним следуют канадская электростанция Sarnia (97 МВт), итальянская Montalto di Castro (84,2 МВт) и немецкая Finsterwalde (80,7 МВт). Замыкает мировую пятерку крупнейших фотоэлектрических парков другой проект на Украине - 80-мегаваттная электростанция Охотниково в Сакском районе Крыма.

Первая в России солнечная электростанция мощностью 100 кВт была запущена в сентябре 2010 года в Белгородской области

Гидроэнергия. Из всех этих видов возобновляемых источников энергии только гидроэнергия в настоящий момент вносит заметный вклад во всемирное производство электроэнергии (17 %).

В большинстве промышленно развитых стран незадействованным на сегодня остался лишь незначительный по объему гидроэнергетический потенциал.

Так, в европейской части России с наиболее напряженным топливно–энергетическим балансом использование гидроэнергетических ресурсов достигло 50 %, а их экономический потенциал практически исчерпан.

Гидроэлектростанция (ГЭС) — электростанция, в качестве источника энергии использующая энергию водного потока. Гидроэлектростанции обычно строят на реках, сооружая плотины и водохранилища.

Гидроэнергетические сооружения в потенциале несут в себе опасность крупных катастроф. Так, в 1979 году авария на плотине в Морви (Индия) унесла около 15 тысяч жизней, в Европе в 1963 году авария плотины в Вайонт (Италия) привела к гибели 3 тысяч человек.

Неблагоприятное воздействие гидроэнергетики на окружающую среду в основном сводится к следующему:

- затопление сельскохозяйственных угодий и населенных пунктов,
- нарушение водного баланса, что ведет к изменению существования флоры и фауны,
- климатические последствия (изменение теплового баланса, увеличение количества осадков, скорости ветра, облачности и т.д.).

Перегораживание русла реки приводит к заиливанию водоема и эрозии берегов, ухудшению самоочищения проточных вод и уменьшению содержания кислорода, затрудняет свободное движение рыб.

С увеличением масштабов гидротехнического сооружения растет и масштаб воздействия на окружающую среду.

В гидроэнергетике кроме обычных ГЭС существуют приливные электростанции (ПЭС). Приливные электростанции строят на берегах морей, где гравитационные силы Луны и Солнца дважды в сутки изменяют уровень воды. Колебания уровня воды у берега могут достигать 13 метров.

Преимуществами ПЭС является экологичность и низкая себестоимость производства энергии.

Недостатками ПЭС является высокая стоимость строительства (капитальные затраты) и изменяющаяся в течение суток мощность, из-за чего ПЭС может работать только в единой энергосистеме с другими типами электростанций.

Геотермальная энергетика. С древнейших времен вулканы наводили ужас. Но горячие подземные источники можно обернуть для выработки тепловой и электрической энергии.

Широко распространена в Исландии и Новой Зеландии.

Ныне на долю геотермальных электростанций приходится 1,6% «чистой» электроэнергии, производимой в США.

Повсеместно на планете на глубине 5–10 км под поверхностью земли протекают геотермальные воды, которые возможно использовать для получения энергии. Нагретые подземные воды выходят на поверхность земли в виде горячих источников или гейзеров, это тепло и может быть

трансформировано в электрическую энергию или использоваться непосредственно для обогрева домов и теплиц.

Первый опыт генерирования электричества из геотермальных источников имел место в Италии в 1904 году. Впоследствии, аналогичные электростанции были построены в Новой Зеландии, в Японии, на Филиппинах и в США. Рейкьявик, столица Исландии, практически полностью отапливается геотермальными водами.

В Москве, которая никогда не видела вулканов, на улице Анохина есть два дома, которые снабжаются теплом из глубокой 30–метровой скважины.

Отрицательными экологическими последствиями использования геотермальной энергии является возможность пробуждения сейсмической активности в районе электростанции, опасность локального оседания грунтов, эмиссия отравляющих газов (пары ртути, сероводорода, аммиака, двуокиси и окиси углерода, метана), которые представляют опасность для человека, животных и растений.

Проведенные исследования показали, что возможная роль возобновляемых источников энергии не выходит за пределы вспомогательного энергоресурса, решающего частные (региональные) проблемы. Ресурсы таких источников, как гидроэнергетика, энергия ветра, морских волн и приливов, недостаточны. Солнечная энергетика и энергетика геотермальная с теоретически неограниченными ресурсами характеризуются чрезвычайно низкой удельной интенсивностью поступающей энергии.

Недостатком геотермальной энергетике также является невозможность строительства геотермальных станций в большинстве регионов планеты. Кроме того, есть пример того, когда построенная электростанция годами простаивала без дела, поскольку источник горячих вод неожиданно иссяк.

Кроме того, необходимо помнить, что с использованием новых видов энергии возникает и новый тип экологических последствий, которые могут привести к изменению природных условий в глобальных масштабах и которые пока в полной мере трудно оценить.

Энергия вулканов используется в 62 странах, суммарная мощность станций – 19300 МВт.

Доля России на мировом геотермальном рынке заметна – 10%. Сейчас на Камчатке работают 5 геотермальные станции мощностью 80 МВт, они обеспечивают 25% потребностей региона. Кроме этого геотермальные месторождения в Краснодарском крае имеется 12 месторождений. Перспективны Краснодарский край, Северный Кавказ, Калининградская область.

«Геотермальные станции – источник дешевой энергии, – говорит директор Института вулканологии РАН Евгений Гордеев, – ресурсы одной только Камчатки оцениваются в 5 тысяч МВт, что позволяет обеспечить регион теплом и электроэнергией в течение 100 лет».

Водородная энергетика – экономичное и экологичное направление выработки и потребления энергии человечеством, основанное на использовании водорода в качестве средства для аккумуляирования, транспортировки и потребления энергии людьми, транспортной инфраструктурой и различными производственными процессами. Водород выбран как наиболее распространенный элемент на поверхности земли и в космосе, теплота сгорания водорода наиболее высока, а продуктом сгорания является вода (которая вновь вводится в кругооборот водородной энергетике). Основная проблема водородной энергетике – это производство исходного топлива – водорода.

Производство водорода

В настоящее время существует множество методов промышленного производства водорода: из природного газа, газификация, электролиз воды, водород из биомассы, за счет атомной энергии.

Ведутся работы по созданию атомных электростанций следующего поколения, которые могут быть источником водорода. Исследовательская лаборатория INEEL (Idaho National Engineering Environmental Laboratory, США) прогнозирует, что один энергоблок атомной электростанции следующего поколения будет производить ежедневно водород, эквивалентный 750000 литров бензина.

Департамент Энергетики США (DOE) прогнозирует, что стоимость водорода сравняется со стоимостью бензина к 2015 году.

Водородные топливные элементы, одним из основных достоинств которых является высокий КПД, имеют и свои слабые стороны. В частности, высокую стоимость и повышенные требования к чистоте используемого водорода. Получение же высокоочищенного водорода, в свою очередь, ведет к снижению общих экономических показателей водородной энергетике. Это является существенным сдерживающим моментом в развитии, например, применения водородных топливных элементов на автомобилях. В этой связи, в России, как и в других странах, ведутся работы и по непосредственному использованию неочищенного топливного водорода в обычных ДВС.

Управляемый термоядерный синтез (УТС) – это синтез более тяжёлых атомных ядер из более лёгких с целью получения энергии, который носит управляемый характер в отличие от взрывного термоядерного синтеза (используемого в термоядерном оружии). Солнце — природный термоядерный реактор. Управляемый термоядерный синтез отличается от традиционной ядерной энергетике тем, что в последней используется реакция распада, в ходе которой из тяжёлых ядер получают более лёгкие ядра.

Соглашения, регламентирующие создание ИТЭР, были подписаны в Париже в ноябре 2006 г. по итогам переговоров делегаций России, Евросоюза, Индии, Китая, Южной Кореи, США и Японии.

ИТЭР будет построен в Кадараше на юге Франции. Его строительство должно продлиться десять лет, после чего реактор предполагается

использовать в течение 20 лет. Общая стоимость проекта оценивается примерно в 10 млрд долл., из которых 40% внесет Евросоюз, а 60% - в равных долях остальные участники проекта. Российский вклад в проект составит до 10% его стоимости.

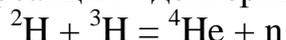
ИТЭР работает благодаря термоядерному синтезу. Фактически ученые ставят перед собой задачу повторения в лабораторных, а затем и в промышленных условиях процессов, происходящих на Солнце: слияние ядер изотопов водорода - дейтерия и трития - приводит к образованию химически инертного гелия и сопровождается выделением большого количества энергии.

Энергия при использовании одного грамма дейтерий-тритиевого топлива теоретически эквивалентна получаемой при сжигании восьми тонн нефти.

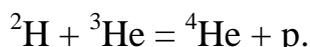
По словам экспертов, ИТЭР не представляет никакой проблемы для безопасности окружающей среды и человечества, он не содержит элементов, позволяющих создать атомную бомбу.

В основных ядерных реакциях, которые планируется использовать в целях осуществления управляемого термоядерного синтеза, будут применяться дейтерий (^2H) и тритий (^3H), а в более отдалённой перспективе гелий-3 (^3He).

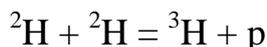
Самая легко осуществимая реакция - дейтерий + тритий:



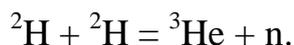
Существенно сложнее, на пределе возможного, осуществить реакцию дейтерий + гелий-3:



Так же возможны реакции между ядрами дейтерия, они идут немного труднее реакции с участием гелия-3:



и



Эти две реакции медленно протекают параллельно с реакцией дейтерий + гелий-3, а образовавшиеся в ходе них тритий и гелий-3 с большой вероятностью немедленно реагируют с дейтерием.

Рассмотрим возможности осуществления обеих реакций.

Перспективная термоядерная энергетика, использующая в качестве основы реакцию синтеза «дейтерий-тритий», имеет ряд существенных недостатков.

Во-первых, при этой реакции выделяется куда большее (на порядок!) число нейтронов с высокой энергией (14 МэВ), чем в ядерной энергетике. Столь интенсивного нейтронного потока ни один из известных материалов не может выдержать свыше шести лет – при том, что имеет смысл делать реактор с ресурсом как минимум в 30 лет. Следовательно, первую стенку тритиевого термоядерного реактора необходимо будет несколько раз заменить в процессе

эксплуатации – а это очень сложная и дорогостоящая процедура, связанная к тому же с остановкой реактора на довольно длительный срок.

Во-вторых, от мощного нейтронного излучения необходимо экранировать магнитную систему реактора, что усложняет и, соответственно, удорожает конструкцию.

В-третьих, многие элементы конструкции тритиевого реактора после окончания эксплуатации будут высокоактивными и потребуют захоронения на длительный срок в специально созданных для этого хранилищах.

В-четвертых, источников трития в природе нет, тритий придётся нарабатывать непосредственно на реакторе, что потребует дополнительных усилий, связанных с радиохимией, т.е. дополнительные сложности. Кроме того, в реакции «дейтерий-тритий» 80% выхода энергии приходится на нейтроны, и лишь 18% – на заряженные частицы, что уменьшает КПД термоядерного энергетического реактора.

В случае же использования в термоядерном реакторе дейтерия с изотопом гелия-3 вместо трития большинство проблем удастся решить. Интенсивность нейтронного потока падает в 30 раз – соответственно, можно без труда обеспечить срок службы в 30–40 лет. После окончания эксплуатации гелиевого реактора высокоактивные отходы не образуются, а радиоактивность элементов конструкции будет мала.

В чем же проблема? Почему мы до сих пор не используем такое выгодное термоядерное топливо?

Прежде всего, потому, что на нашей планете изотопа гелия-3 чрезвычайно мало. Рождается он на Солнце, отчего иногда называется «солнечным изотопом». Его общая масса там превышает вес нашей планеты. В окружающее пространство гелий-3 разносится солнечным ветром. Магнитное поле Земли отклоняет значительную часть этого ветра, а потому гелий-3 составляет лишь одну триллионную часть земной атмосферы – примерно 4000 т. На самой Земле его еще меньше – около 500 кг.

На Луне этого изотопа значительно больше. Там он вкрапляется в лунный грунт «реголит», по составу напоминающий обычный шлак. По различным оценкам в лунном грунте содержится около миллиарда тонн ^3He , из-за этого его зовут лунным гелием. Этого хватит Земле на 50 млн лет. Столько человечество еще и не живет.

Кроме Луны, гелий-3 можно найти в плотных атмосферах планет-гигантов, и, по теоретическим оценкам, запасов его только на Юпитере хватило бы для энергетики Земли до окончания времен.

На пути к созданию энергетики на основе гелия-3 есть одна немаловажная проблема. Дело в том, что реакцию «дейтерий-гелий-3» осуществить гораздо сложнее, чем реакцию «дейтерий-тритий». В первую очередь, необычайно трудно поджечь смесь этих изотопов. Расчетная температура, при которой пойдет термоядерная реакция в дейтерий-тритиевой смеси, – 100-200 миллионов градусов. При использовании гелия-3 требуемая

температура на два порядка выше. Фактически мы должны зажечь на Земле маленькое солнце.

Впрочем, зажечь смесь еще полдела. Минус термоядерной энергетики – сложность получения практической отдачи, ведь рабочим телом является нагретая до многих миллионов градусов плазма, которую приходится удерживать в магнитном поле.

Эксперименты по приручению плазмы проводятся уже многие десятилетия, но лишь в конце июня 2006г. в Москве представителями ряда стран было подписано соглашение о строительстве на юге Франции в городе Кадараш Международного экспериментального термоядерного реактора (ITER) — прототипа практической термоядерной электростанции. В качестве топлива ITER будет использовать дейтерий с тритием.

Термоядерный реактор на гелии-3 будет конструктивно сложнее, чем ITER, и пока его нет даже в проектах.

АТОМНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

Кроме того, какими бы запасами органического топлива не располагал мир (прогнозы достаточно противоречивы), вопрос: «Насколько их хватит?» теперь уже во многом не корректен. Главным стал другой вопрос: «Насколько их можно использовать?»

Сегодня уже очевидно, что перспективы энергообеспечения на длительный период времени не могут более связываться с углеводородным топливом, как базовым энергоисточником. Аргументы в поддержку такого утверждения известны:

- это топливо невозобновляемо,
- ресурсы его ограничены,
- стоимость добычи и транспортировки неумолимо растёт,
- и, наконец, энерготехнологии на его основе не могут в принципе удовлетворять современным экологическим требованиям, соответствующим современному пониманию процессов, происходящих в окружающей среде.

Настороженное отношение общественности к ядерной энергетике говорит о том, что она ещё не достигла уровня развития традиционной энергетики сжигания органического топлива или других видов промышленности (например, автомобилестроения), к проблемам которых общество относится достаточно равнодушно. Однако отношение, сложившееся в отношении атомной энергетики после Чернобыля, как врага природы и экологии, постепенно уходит в прошлое.

Вся промышленная деятельность человечества (в том числе и атомная, и тепловая энергетика) оказывает техногенное воздействие на окружающую природную среду. Однако, если сравнивать вред от воздействия других

технологий на общий риск для жизни человека и природы в целом, то приходишь к выводу, что без АЭС может быть ещё хуже.

Несмотря на опасность производства, связанного с радиацией, за 50 лет освоения атомной энергии в мире от переоблучения погибло меньше людей, чем погибает ежедневно в результате автомобильных аварий. По данным ученых США вероятность погибнуть в результате аварии на предприятиях атомной промышленности в 100 раз ниже, чем в автомобильной катастрофе и в 1000 раз ниже, чем от болезни сердца.

В XXI веке к атомной энергетике предъявляются 5 основных требований:

- безопасность,
- экономика (конкурентоспособность по сравнению с другими энерготехнологиями),
- нераспространение,
- обращение с отработавшим топливом и радиоактивными отходами (экология).

Три главных потенциала ядерной энергетике позволят выполнить эти требования:

- огромный энергоресурсный (теплотворная способность ядерного топлива в 2–3 млн. раз больше, чем у традиционных видов),
- энергоэкономический (экономические показатели не зависят от места расположения)
- и энергоэкологический (отсутствие вредных выбросов)

В настоящее время атомная энергетика сохраняет и усиливает свои позиции, как один из основных мировых источников энергии.

На атомную энергию приходится 6% мирового топливо–энергетического баланса и 17% производимой электрической энергии.

Наработано уже более 10000 реакторо-лет, из них 7000 без крупных аварий после апреля 1986 года. В 2020 году будет эксплуатироваться более 500 блоков АЭС

Согласно МАГАТЭ по состоянию на конец 2006 г в 30 странах мира работало 435 энергетических реакторов и строилось еще 29. Первое место в этом списке принадлежит США со 103 энергоблоками, далее Франция (59), Япония (55), Россия (31).

Таблица 2.

Различные виды энергии в сравнительной статистике

Показатель	Уголь	Нефть	Природный газ	Ядерная энергия	Гидроэнергия	Ветровая энергия	Солнечная энергия
Вклад различных видов энергоносителей в производство электроэнергии, %:							
Мир	40	10	14	~17	~17	~1	~1
Страны, богатые гидроресурсами, %							
Канада	15	3	5,1	12,9	61	≈3	≈3
Швеция	1,1	2	-	43,9	51	<1	<1
Швейцария	-	5	-	36,0	59	-	-
Страны, богатые углём, %							
США	49,6	3	13	20,4	8	≈3	≈3
Германия	54,5	2	7	30,5	4	<1	<1
Великобритания	52	6,6	11	24,4	2	2	2
Китай	74	6,9	-	1,1	18	-	-
Россия	16	8	43	16	17	<0,03	<0,001
Страны, бедные природными энергоресурсами, %:							
Франция	6	2	2	77,1	14	-	-
Республика Корея	18	28,7	10	39,3	4	-	-
Тайвань	34	30,4	5	21,6	9	-	-
Япония	9,7	21	22	34,3	9	≈2	≈2
Западно-Сибирский регион	46	5	48	-	-	-	-
Общие подсчитанные резервы + потенциальные ресурсы, Э _{Дж} (1 Э _{Дж} =10 ¹⁸ Дж)	18000 (11000)	3500 (1400)	2300 (11000)		126 в год	84 в год	75 в год
При открытом ядерном топливном цикле (ОЯТЦ)				2000 (8000)			
При замкнутом ЯТЦ (ЗЯТЦ)				300000 (600000)			
Продолжительность надёжного энергоснабжения, лет	250	45	60	55 (ОЯТЦ) 3300 (ЗЯТЦ)	-	-	-
Занимаемая площадь, необходимая для производства энергии. Отчуждение земли, м2/МВт	2400	870	1500	630	265 000	17000 0	10000 0

Продолжение таблицы 2.

Показатель	Уголь	Нефть	Природный газ	Ядерная энергия	Гидро энергия	Энергия ветра	Солнечная энергия
Выделение CO ₂ (парниковый эффект), г/кВт·ч	251/10	192/6	180/3	0/7	0/6	0/20	0/52
Выделение SO _x , мг/(кВт·ч)	288/38	26/3,5	0/7	0/32	-	0/15	0/104
Выбросы NO _x , мг/(кВт·ч)	516/44	242/21	208/6	0/70	-	0/19	0/99
Удельные капитальные вложения, долл./кВт	120 0-1400	100 0-1300	1200- 1500	1300-2000	2000	1800	2500
Себестоимость электроэнергии, цент/(кВт·ч)	2,5- 4,0	~2, 6-3,0	~2,6- 3,0	~2,2-3,0	1,2	4,8- 7,0	12,0
Средняя величина внешних затрат, цент/кВт·ч	4,7- 7,3	4,4- 7,0	1,3- 2,3	0,4	0,4-0,5	0,1- 0,2	0,6
Трудоемкость энергопроизводства, чел./(ТВт·ч)	116	~12 0	~130	100	-	542	248
Общее сокращение средней вероятностной продолжительности жизни лет/ТВт·ч	141	359	46	2-10			
Показатели ущерба от тяжелых аварий на ГВт/год*				ВВЭР/РБ МК			
Число непосредственных летальных исходов	0,13	0,3 9	0,066	0.0/0,16			
Денежный ущерб (млн дол США, 1996)	0,03 5	0,9 4	0,11	1,3/1760			
Энерговложения в электростанции и сроки возврата ими электроэнергии (затраченной на строительство и топливообеспечение) при нормативном сроке службы 30 лет.							
Электровложения : В электростанцию, %	1,5	-	-	2	8	10	-
В топливообеспечение, %	5	-	-	5	-	-	-
Доля от энергосыработки, %	6,5	-	-	7	30	40	-
Срок возврата энерговложений, лет	~2	-	-	~2	~9	~12	-

* Сравнение аварийных рисков от разных энергоисточников были предприняты институтом Пауля Шеррера (ИПШ) в Швейцарии. Эти исследования продолжались свыше 5 лет. Риск для общества считается приемлемым, если частота аварий влекущих 10, 100 и 1000 летальных исходов, не превышает 10^{-5} , 10^{-7} , 10^{-9} в год соответственно.

Данные по неядерным энергетическим системам в европейских странах 1009-1996 гг от ИПШ. Данные по ядерной энергии 1960-1998гг от МАГАТЭ.

Таблица 3.

Сравнение технико-экономических и экологических показателей ТЭС и АЭС.

Показатели	ТЭС	АЭС
Затраты на обеспечение топливом, млрд руб.	2,1	0,26÷0,5
Стоимость сооружения, млрд руб.	25-40	50,0÷72,0
Средний тариф на шинах (затраты на производство) коп./кВт·ч	36,3	19,2
Продолжительность строительства, годы	3÷5	4÷6
Потребление топлива для ТЭС и АЭС мощностью 1ГВт(эл), т/год	$3 \cdot 10^6$	30 т (200т природного урана)
Трудоёмкость энергопроизводства, чел/ГВт·год	1016	878
Топливные, эксплуатационные, капитальные затраты, %	40 20 40	10 20 70
Отчуждение земли, га	120÷160	30÷60
Потребление атмосферного кислорода, м ³ /год	$5,5 \cdot 10^9$	–
Вода (безвозвратные потери), млн м ³	19,2	+
Твёрдые отходы, т/год (м ³ /год)	700000 (420000)	Среднеактивные + низкоактивные < 800 (160) отработанное ядерное топливо (высокоактивные) 25÷30 (2,5).
Выбросы в атмосферу, т/год		
CO ₂	8146800	–
SO ₂	30660	–
NO _x	32412	–
Зола	25839	–
C ¹⁴ (ПДА, Бк/м ³)		$17,2 \cdot 10^{-7}$ ($1,1 \cdot 10^2$)
T ³ (ПДА, Бк/м ³)		$20,6 \cdot 10^{-6}$ ($7,6 \cdot 10^3$)
Активность свежезагруженного топлива, Ки	3,51÷57,0	11,76
Активность отходов, поступающих в биосферу, Ки	65,65	$1,8 \cdot 10^{4**}$
Мощность тепловых сбросов в конденсатор, % от общей тепловой мощности	52	67
Мощность тепловых сбросов через трубу в атмосферу, % от общей тепловой мощности	15	0
Число случаев преждевременной смерти	0,055 (360*)	0,11
Потеря трудоспособности, чел·лет	1,4	2,2

Показатели	ТЭС	АЭС
	(7200 [*])	
Сокращение продолжительности жизни, чел·лет	2,2 (10 ^{4*})	3,3
Раковые заболевания с летальным исходом	+	$3,2 \cdot 10^{-2}$
Раковые заболевания без летального исхода	+	$7,6 \cdot 10^{-2}$
Генетические повреждения	+	$6,4 \cdot 10^{-3}$
Коллективная доза облучения населения, чел·Зв/ГВт·год	4	0,4÷1,8
Энерговложения в электростанции и сроки возврата ими электроэнергии (затраченной на строительство и топливообеспечение) при нормативном сроке службы 30 лет.		
Электровложения:		
В электростанцию, %	1,5	2
В топливообеспечение, %	5	5
Доля от энерговыработки, %	6,5	7
Срок возврата энергосложений, лет	~2	~2

* Заболевания нерадиационной этиологии.

** Активность поступающих в биосферу отходов от АЭС зависит от учета категории радионуклидов. Например, активность газов в случае выдержки их в газгольдере перед выбросом их в атмосферу уменьшается за счет распада короткоживущих радионуклидов.

Урановые топливные сборки, изготовленные в России, используются в каждом восьмом атомном энергоблоке мира (в 2007 г. в мире 432 энергоблока). Только в США более половины энергоблоков работают на российском уране (в США действуют 104 энергоблока, в России – 31).

Одна топливная таблетка из диоксида урана 4,5 г. (обогащение до 4 % по урану-235) выделяет энергию, эквивалентную сжиганию 882 кг дров, 550 кг угля, 500 куб. м природного газа или 500 кг нефти.

Один тепловыделяющий элемент (ТВЭЛ, вмещает 340 топливных таблеток) для реактора ВВЭР-1000 выделяет энергию, эквивалентную сжиганию 300 т дров, 190 т угля, 170 тыс. куб. м природного газа или 170 т нефти.

Одна тепловыделяющая сборка (ТВС, состоит из 312 ТВЭЛОВ, вмещающих 106080 топливных таблеток) для реактора ВВЭР-1000 выделяет энергию, эквивалентную сжиганию 93,6 тыс. т дров, 59,28 тыс. т угля, 53,04 млн. куб. м природного газа или 53 тыс. т нефти.

Общая загрузка активной зоны для реактора ВВЭР-1000 составляет примерно 80 тонн диоксида урана.

Отметим, что для ТЭС на угле мощностью 2 ГВт требуется 6 млн. т угля (~ 150000 вагонов угля в год, >400 вагонов в сутки), потребление кислорода составляет ~ 10^{10} м³/год, накапливается около 1,4 млн. т (800 тыс. м³) твердых отходов в год.

Для АЭС требуется топлива 2 вагона в год, кислород не потребляет, облученное (отработанное) ядерное топливо (ОЯТ) составляет 40-50 т (5 м³) в год.

Такое громадное количество твердых отходов ТЭС не имеет никакой энергетической ценности, а изготовленное новое топливо из 50 т ОЯТ позволяет заместить 2 млн. т угля, 1.6 миллиардов м³ газа, 1,2 млн. т нефти.

1,2 млн. тонн российской нефти – это 900 млн. долларов США.

1,6 млрд. м³ газа – это 500 млн. долларов США.

В настоящее время установлено, что добыча этих 6 млн. т угля обойдется в 24 человеческие жизни и 90 травм шахтеров

Теплотворная способность различного топлива и коэффициент выброса CO₂

Топливо	Теплотворная способность, МДж/кг	Выбросы CO ₂ , г/МДж
Сырая нефть	45-46	70-73
Природный газ	55	51
Каменный уголь (в среднем)	22	90
Бурый уголь (в среднем)	9,7	1250
Древесина (сухая)	16	94
Естественный уран (в реакторах на быстрых нейтронах)	$2,8 \cdot 10^7$	Нет
Уран, обогащенный до 3,5% (в реакторах типа ВВЭР)	$3,9 \cdot 10^6$	Нет