

## **Ядерная Энергия: Затраты, Альтернативы и Франция**

Энегетика и Безопасность № 40

- 
- [Ядерная дилемма Франции?](#)  
Арджун Макиджани
  - [Затраты на атомную энергию: все выше и выше](#)  
Арджун Макиджани
  - [Надежная энергосистема США на возобновляемых источниках энергии](#)  
Арджун Макиджани
- 

### **Ядерная дилемма Франции?**

Арджун Макиджани<sup>[1]</sup>

Ядерный истеблишмент то и дело ставит в пример Францию, как модель настоящей ядерной державы. Почти 80% электроэнергии страна получает за счет АЭС. Отработанное ядерное топливо здесь перерабатывается для выделения плутония, который используется для получения смешанного оксидного топлива – смеси диоксида плутония и диоксида обедненного урана, которая называется МОХ- топливо. 30 % этого топлива идет на обеспечение 20 из 58 ядерных реакторов страны.

Такое «повторное использование» позиционируется как решение проблем с ядерными отходами, и подразумевается, что Франция их уже решила. Предполагается, что это поможет решить проблему сокращения выбросов углекислого газа (и практически все единодушны в том, что это глобальная необходимость, требующая безотлагательности). Наконец, говорят, что французская общественность более разумна в том, что поддерживает чистую атомную энергетику, чем и отличается от скептически настроенного американского общества.

Давайте отделим факты от мифов. В первую очередь рассмотрим факты из любимой области ядерного истеблишмента:

1. Франция действительно получает почти 80% электроэнергии за счет атомной энергии.
2. Франция действительно перерабатывает основную часть уранового отработанного топлива на крупнейшем в мире коммерческом заводе по переработке ОЯТ, расположенном в Нормандии на мысе Ля Хаг. Там у Франции есть две установки по репроцессингу ОЯТ, одна для собственного отработанного топлива, другая - для иностранного. На комплексе также хранятся высокорadioактивные жидкие отходы от репроцессинга, а также высокорadioактивные стеклянные блоки, полученные от соединения высокоактивных жидких отходов со стекломассой. Объем этих радиоактивных стеклянных материалов равен примерно трети объема перерабатываемого ОЯТ.
3. Франция ввозит весь урановый материал.
4. МОХ-топливо генерирует менее десяти процентов всей электроэнергии Франции.

А теперь о неприятных фактах.

### **Загрязнение от процесса переработки**

Подобно любой другой стране, которая имеет атомные электростанции, у Франции есть большая и сложная проблема с ядерными отходами, которая пока никак не решена. Репроцессинг и остекловывание на самом деле сокращают объемы высокорadioактивных отходов, однако создают иные проблематичные потоки отходов.

Например, электростанция в Ля Хаг использует трубопровод для ежегодного слива сотен миллионов литров жидких радиоактивных отходов в пролив Ла-Манш, что приводит к загрязнению всех океанов вплоть до Арктики. Этот вопиющий случай загрязнения продолжается на основании лицемерного переименования жидких отходов в «стоки». Если эти же отходы залить в цилиндрические ящики на 55 галлонов и выбросить за борт, это будет считаться противозаконным по условиям Лондонской Конвенции о сбросе отходов от 1970 года. Однако каким-то образом эти «стоки» здесь разрешены к сливу. Двенадцать из пятнадцати стран-участников договора Осло-Париж попросили Францию и Великобританию, у которой есть два завода по переработке отходов на северо-западе Англии, прекратить сливать отходы, однако тщетно. Это слабый договор – стороны, отказывающиеся подчиняться, то есть Англия и Франция, не обязаны выполнять его условия.

Более того, репроцессинг создает новые пути для возникновения твердых отходов. Например, во Франции есть большие объемы отходов с плутонием, которые называются долгоживущими ядерными отходами средней радиоактивности, основная часть которых сопоставима с трансураниевыми отходами в США. Такие отходы предназначены для утилизации в глубокое геологическое хранилище вместе с остеклованными высокорadioактивными отходами. Данные о французских ядерных отходах не позволяют свободно сравнивать объемы отходов до и после репроцессинга, предназначенных для хранилища. Однако стоит отметить, что объемы долгоживущих ядерных отходов средней радиоактивности во Франции, предназначенные для утилизации в хранилище, более чем в десять раз превышают объемы высокоактивных отходов.<sup>[21]</sup>

Существуют также отходы с ураном, которые выделяют в рамках системы переработки. В таблице 1 представлен приблизительный состав свежего и отработанного ядерного топлива, выработанного ядерным реактором с водой под давлением (это тип реактора, который используется во Франции, а также наиболее часто встречается в США).

**Таблица 1: Приблизительный состав топлива ядерного реактора с водой под давлением (цифры округлены)**

Вещество	Свежее ядерное топливо (масса, в процентах)	ОЯТ(масса, в процентах)	Комментарии
Уран-235	4	1	Килограмм обогащенного ядерного топлива образует примерно семь килограммов обедненного урана в процессе обогащения.
Уран-238	96	94	
Плутоний (а также незначительные объемы других трансурановых радионуклидов)	0	1	Смесь различных изотопов от плутония-238 до плутония-242. Может использоваться для производства ядерного оружия. Преддетонация наиболее вероятна для бомб, созданных из плутония реакторного типа, нежели из оружейного плутония.
Продукты деления	0	4	Продукты деления в ОЯТ обладают самым высоким уровнем радиации.

Примечание. Незначительное количество урана-234 и продуктов активации в таблице не представлено. Таблица взята из статьи Арджуна Макхиджани «Без углекислого газа и атомной энергетики: план энергетической политики США» (Такома Парк, штат Мэриленд: IEER Пресс; г. Маскигон, шт. Мичиган: RDR Books), 2007 год. Адрес статьи в Интернете - <http://ieer.org/resource/reports/carbon-free-and-nuclear-free/>.

На плутоний приходится лишь около одного процента от массы ОЯТ. Это и есть «вторично используемая» часть. Эта обратная часть создает отработанное МОХ-топливо, с пониженным изотопным составом плутония, который более сложно перерабатывать и использовать в легководных ядерных реакторах. В конце концов, отработанное МОХ-топливо скорее всего будет утилизировано в глубокое геологическое хранилище вместе с остеклованными и трансурановыми отходами.

### **Репроцессинг и отходы обедненного урана**

Девяносто пять процентов от общей массы ОЯТ составляет уран, и практически весь является ураном-238, которой не расщепляется. Этот уран загрязнен мелкими частицами продуктов деления, плутонием и другими радиоактивными веществами. Теоретически его

можно вновь обогатить и применить как топливо, однако из-за его загрязнения проблема переработки и обогащения урана является более сложной и дорогостоящей.

Прежде всего, следует отметить, что оборудование для переработки и обогащения урана загрязняется этими веществами, которые намного радиоактивнее на единицу массы, чем природный или низкообогащенный уран. Франция без труда отправляет этот загрязненный уран в Россию<sup>[3]</sup>, которая, по-видимому, не против загрязнения своих обогатительных комбинатов. Стоит отметить, что американская программа компенсаций для рабочих, производящих ядерное оружие, которые подвергаются радиационному облучению, была инициирована в большей степени из-за всплывшего факта о том, что обогатительный завод в городе Падыюка, штат Кентукки, загрязнен плутонием<sup>[4]</sup> и другими трансурановыми радионуклидами и что эти вещества могли серьезно повлиять на радиационное облучение рабочих.<sup>[5]</sup>

Даже если загрязнение обогатительных заводов будет официально признано, основную часть урана, который является нерасщепляющимся ураном-238, придется утилизировать как обычные отходы. С 50-х годов прошлого века сторонники распространения атомной энергетики мечтали о преобразовании урана-238 в топливо в «бридерных реакторах», где бы в качестве топлива использовался плутоний. Но из использования урана-238 они мечтали получить еще больше – энергосистему, которую первый руководитель Национальной лаборатории Ок-Риджа Элвин Вейнберг (Alvin Weinberg) назвал «чудесным» источником энергии.

Но несмотря на 100-миллиардные расходы (в долларах США на 1996 год) во всем мире, комбинирование репроцессинга и бридерных реакторов так никогда и не было поставлено на коммерческий поток.<sup>[6]</sup> На самом деле, бридерные реакторы работали настолько неустойчиво – некоторые хорошо, некоторые очень плохо – что нет никакой реальной перспективы серьезного использования коммерческих бридерных реакторов на десятилетия вперед. Что же касается репроцессинга, Франция, которая эксплуатирует самые эффективные из существующих в мире коммерческих перерабатывающих предприятий, тратит примерно на два цента больше за каждый киловатт-час электроэнергии, генерированной за счет МОХ- топлива, по сравнению с урановым топливом.

Переработанный уран увеличил бы и без того огромные объемы обедненного урана, полученного в результате обогащения урана для изготовления реакторного топлива. Как и США, Франция пока не решила и эту проблему. В последние годы появились призывы утилизировать обедненный уран тем же способом, что и низкоактивные отходы класса А, то есть поверхностным захоронением, даже если такое захоронение может привести к долговременным дозам облучения, намного превышающим сегодняшние нормативы по радиационной защите.<sup>[7]</sup> Результаты утилизации урана, полученного после переработки, могут быть куда хуже, поскольку радиоактивность урана от репроцессинга на единицу массы еще выше.

Когда будут приняты во внимание радиоактивное и биологическое воздействия, обедненный и переработанный уран необходимо будет утилизировать в глубокое

геологическое хранилище, как трансурановые отходы. Это может прибавить проблем с утилизацией отходов, которые пока не решены ни в одной стране.

### **Глубокое геологическое хранилище**

Итак, Франции все же необходимо глубокое геологическое хранилище для утилизации высокорadioактивных и трансурановых отходов. Программа строительства хранилища получила в стране общественный резонанс, который не намного отличался от общественного сопротивления по такому же случаю в США. Например, Франция, как и США, запланировала дать оценку двум различным горным месторождениям, в том числе одному гранитному. Когда были объявлены места гранитных месторождений, которые предполагалось использовать в качестве геологических хранилищ, общественное возмущение привело в 2000 году<sup>[81]</sup> к отказу от второго из них. Точно так же и США в 1986 году под давлением общественности отказались от идеи использования гранитных месторождений в целях мест захоронений ЯО. Более раннюю попытку дать оценку месту под хранилище пришлось также оставить из-за воинственно настроенной оппозиции, которую представляли региональные фермеры-птицеводы (“poulets de Bresse”).<sup>[91]</sup>

Подобно Соединенным Штатам, сейчас Франция занимается оценкой лишь одного хранилища, продолжая сталкиваться с серьезными техническими и политическими трудностями.

### **Риски возникновения аварийной ситуации и нарушения безопасности**

Франция по праву гордится своими кулинарными и винодельными традициями. Как уже отмечено, часть оппозиции, воинственно настроенной против хранилища ядерных отходов, была инициирована птицеводами, поставляющими кур для того, чтобы угодить особым вкусам гурманов-парижан. До сих пор мало внимания уделялось тому, что могло бы произойти в случае возникновения серьезной аварии, повлекшей выброс больших объемов радиоактивности в масштабе, аналогичном Чернобыльской катастрофе. Во Франции такая авария менее вероятна. Конструкция французских ядерных реакторов, с одной стороны, отличается от чернобыльских. Однако, несмотря на то, что механизмы работы могут различаться, а возможность аварии наверняка ниже, случись подобная катастрофа, она могла бы нанести непоправимый вред самым лучшим традициям страны. Когда в Париже, в 1990-е годы, я публично дискутировал с французом - сторонником атомной энергетики и обратил его внимание на этот факт, большая часть аудитории была шокирована осознанием такой возможности.

Несмотря на более широкое применение плутониевого топлива во Франции, нежели в любой другой стране, здесь хранится огромный запас плутония. По данным на 2005 год, 81 метрическая тонна плутония была накоплена в комплексе Ла Хаг, из них около 51 метрической тонны принадлежало Франции.<sup>[101]</sup> У Франции нет больших возможностей увеличивать потребление плутониевого топлива, поскольку лишь восемь ядерных реакторов (из 28 всего) годятся для использования до 30 процентов МОХ-топлива в активной зоне реактора. Этот плутоний хранится в десятках тысяч контейнеров.

Существует риск террористических атак как на плутониевые склады, так и на цистерны с жидкими высокорadioактивными отходами.

Существует также риск распространения ядерного оружия. Больше всего это относится к Японии. Франция перерабатывает японское отработанное топливо. Также французы помогли Японии построить и ввести в эксплуатацию крупный коммерческий перерабатывающий завод «Роккашо-мура» (Rokkasho-mura)<sup>[11]</sup>. Много лет Япония демонстрировала амбиции по поводу использования MOX- топлива в своих реакторах, но на сегодняшний день пока так и не применила его из-за больших проблем. С программой бридерных реакторов также постоянно случались неприятности, в том числе натриевый пожар в 1995 году на демонстрационном заводе Монжу (Monju).

Соблазн превратить в оружие запасы излишков плутония, выделенного на коммерческих перерабатывающих заводах, проявился самым драматичным образом, когда в 2002 году лидер лейбористской партии Японии Ичиро Озава (Ichiro Ozawa) сказал, что Япония может использовать свои коммерческие ядерные активы для изготовления тысяч единиц ядерного оружия, если Китай станет чересчур сильным и «кисливым».<sup>[12]</sup>

В целом, проблема безопасности с запасами плутония продолжает расти. В 2005 году во всем мире насчитывалось около 250 метрических тон запасов коммерчески выделенного плутония, при этом на Великобританию приходилось еще больше запасов плутония, чем на Францию – 107 метрических тонн. Британия продолжает заниматься репроцессингом, несмотря на то, что в стране даже нет ни одного реактора, использующего MOX-топливо. У одного из двух перерабатывающих предприятий произошла серьезная внутренняя утечка высокорadioактивного вещества, и оно было закрыто на два года.

Кистонский центр по вопросам ядерного расследования (Keystone Center Joint Nuclear Fact-Finding (NJFF), куда входили представители атомной отрасли, выразил несколько абсолютно четких предостережений по поводу рисков в связи с репроцессингом и его развитием, которому содействует программа «Глобальное ядерное энергетическое партнерство» администрации президента Буша (Global Nuclear Energy Partnership (GNEP):

*Хотя NJFF соглашается с некоторыми пунктами программы GNEP, эта программа не является стратегической для решения проблем с радиоактивными отходами и ядерным распространением. Группа NJFF согласна со следующими вопросами относительно ядерного распространения, которые программа GNEP пытается поставить:*

- Все виды плутония, независимо от источника, могут использоваться для изготовления ядерных взрывчатых веществ и должны контролироваться.
- Репроцессинг является проблемой для неядерных государствах. Широкое применение смешанного оксидного топлива как в ядерных, так и неядерных державах вызывает одинаковые сложности.
- Даже в государствах с ядерным оружием плутоний необходимо охранять и нельзя увеличивать запасы выделенных и легко выделенных форм плутония, например, смешанного оксидного топлива.

*Разработчики NJFF уверены, что основные составляющие программы GNEP вряд ли будут иметь успех, поскольку:*

- Программа GNEP требует в коммерческом масштабе развернуть строительство перерабатывающих предприятий, а также большую часть американского и мирового арсенала коммерческих реакторов возможно придется превратить в ядерные реакторы на быстрых нейтронах.
- На сегодняшний день внедрение промышленных перерабатывающих предприятий оказалось неэкономичным.
- Ядерные реакторы на быстрых нейтронах оказались неэкономичными и менее надежными, чем обычные легководные реакторы.

Хотя это не является целью программы GNEP, она могла бы стимулировать создание горячих камер (для работы с высокоактивными веществами), а также работу научно-исследовательских и опытно-конструкторских центров по репроцессингу в неядерных странах и кадровую подготовку специалистов в области химии плутония и металлургии - все, что представляет собой серьезнейшую опасность ядерного распространения.<sup>[13]</sup>

## **Процесс принятия решений по ядерным вопросам во Франции**

Выбрать атомную энергетику в массовом порядке Франция решила в 1973 году, когда нефтяной кризис обострил слабые места во французской энергосистеме, где для генерирования электроэнергии почти на 40 процентов использовалась нефть. Поскольку атомная энергетика позволила Франции существенно избавиться от нефти в энергетическом секторе страны (в последние годы ее доля составляет около двух процентов), открытых дискуссий о том, насколько полезно возлагать большие надежды на атомную энергию, было немного. Противников атомной энергии серьезно смущали речи об энергетической независимости. Но на самом деле, все запасы урана Франция ввозит – лишь около девяти процентов атомной электроэнергии, которую генерируют за счет плутония, может по праву считаться энергией на отечественном топливе. Энергосистема как никогда зависима от импорта нефти из-за роста ее потребления в транспортном секторе.

Дотошные публичные проверки широкого распространения атомной энергии во Франции осуществлялись намного проще благодаря тому, что в стране всего лишь одна энергетическая компания «Электрисите де Франс» («Electricité de France» или EdF), которая на 100% принадлежала государству. Даже сегодня EdF более чем на 80% является государственной. Перерабатывающая компания «Кожема» (Cogema) также полностью была государственной. Сегодня она является частью промышленного конгломерата AREVA, которая более чем на 80% принадлежит французскому государству.

## **Выводы**

Французская модель обложения своих налогоплательщиков добавленной стоимостью, загрязнения океанов перед лицом протестующих соседних государств, а также



аккумуляции громадных объемов внутренних и иностранных запасов плутония вряд ли является примером для подражания для Соединенных Штатов или любой другой страны.

Как отмечено в сопроводительных статьях, существует разумный и четкий путь к энергетическому сектору, основанному на возобновляемых источниках энергии, который не несет проблем и рисков атомной энергетики, которая, ко всему прочему, еще и дорого стоит. Нет недостатка в источниках энергии с почти нулевыми выбросами углекислого газа. Существует два наиболее важных ограничения:

- Времени, чтобы решить проблему радикального сокращения выбросов CO<sub>2</sub>, мало и становится все меньше.
- Количество средств ограничено, поэтому их необходимо направить туда, где в самые кратчайшие сроки можно добиться наилучшего результата.

На строительство атомных электростанций уходит много лет. Как отмечено в статье о затратах на АЭС «Затраты на атомную энергию: все выше и выше», существует разумная перспектива, что солнечные электростанции среднего масштаба могут лет через десять или даже ранее сделать атомную энергетику экономически нецелесообразной, особенно если государственная политика будет направлена на поддержку не атомной, а солнечной энергии..

Франция решила проблему своей независимости от нефти для генерирования электроэнергии, выбрав атомную энергию, но в итоге, страна создала себе совершенно другую сложнейшую проблему. Поэтому следовать по пути ядерной Франции отнюдь не так приятно, как это представляют сторонники атомной энергии.

Даже французы умеют думать дважды. Менее 31% граждан поддерживает атомную энергию, выражая тем самым реакцию на сегодняшний энергетический кризис. 54% французов выступают сегодня против инвестирования трех миллиардов евро в строительство нового ядерного реактора, а 84 % поддерживают развитие возобновляемых источников энергии.<sup>[14]</sup> Однако французы попали в ситуацию зависимости от ядерной энергетики и еще какое-то время не смогут из нее выбраться, потому что вырыли для себя еще более глубокую ядерную яму, чем это сделали США.

<sup>[1]</sup> На сайте IEER размещено большое количество материала, посвященного атомной энергетике Франции. В разделе «Публикации» читайте статьи: «Низкоуглеродистая диета без ядерного оружия во Франции» (“Low Carbon Diet without Nukes in France”), «Кожема: над законом» (“Cogéma: Above the Law”), а также «Последняя игра плутония» (“Plutonium End Game”). В разделе «*Science for Democratic Action*» читайте выпуск 9, № 2; выпуск 13, № 4; и выпуск 14, № 2.

<sup>[2]</sup> “Qu’y-a-t-il entre le déchet et l’environnement”, адрес Интернет сайта CEA: [www.cea.fr/var/plain/storage/original/application/fda10c807ffc6bb4da51cb04aaded70f.pdf](http://www.cea.fr/var/plain/storage/original/application/fda10c807ffc6bb4da51cb04aaded70f.pdf)

<sup>[3]</sup> Этот факт был выявлен в ходе обсуждения после презентации вице-президентом компании AREVA Аланом Хэнсоном отчета Кистонского центра по ядерному расследованию (Keystone Center Nuclear Power Joint Fact-Finding), которое было опубликовано в июне 2007 г. Арджун Макхиджани был вторым презентатором.

<sup>[4]</sup> Статья Джоби Уоррика (Joby Warrick), “Paducah Workers Sue Firms Class Action Cites Radiation Exposure, Seeks \$10 Billion,” газета *Вашингтон Пост* от 4 сентября 1999 г.



<sup>[5]</sup> Международный союз PACE (Paper, Allied Industrial, Chemical and Energy Workers International Union) и Ютский университет, «*Exposure Assessment Project at the Paducah Gaseous Diffusion Plant*», декабрь 2000 г.

<sup>[6]</sup> Более подробная информация о неудачной попытке поставить на конвейер плутоний в статье Арджуна Макхиджани «Последняя игра плутония» (*Plutonium End Game*), Институт исследований вопросов энергетики и окружающей среды (IEER), Такома Парк, штат Мэриленд, 2001 г.

<sup>[7]</sup> Отчет Арджуна Макхиджани и Брайса Смита «Затраты и риски, связанные с управлением и утилизацией обедненного урана от Национального обогатительного комбината, который планирует построить компания LES в Ли Каунти, штат Нью-Мексико»

(«*Costs and Risks of Management and Disposal of Depleted Uranium from the National Enrichment Facility Proposed to be Built in Lea County New Mexico by LES*», Такома Парк, Мэриленд: Институт исследований вопросов энергетики и окружающей среды, 24 ноября 2004 г., редактированная версия, опубликована в феврале 2005 г. (сайт <http://ieer.org/resource/reports/costs-risks-management-disposal/>); а также - Арджун Макхиджани и Брайс Смит, новая версия отчета

«*Update to Costs and Risks of Management and Disposal of Depleted Uranium from the National Enrichment Facility Proposed to be Built in Lea County New Mexico by LES by Arjun Makhijani, PhD. and Brice Smith, Ph.D. based on information obtained since November 2004*», Такома Парк, шт. Мэриленд: Институт исследований вопросов энергетики и окружающей среды, 5 июля 2005 г., редактированная версия отчета опубликована 10 августа, 2005 г. (сайт <http://ieer.org/resource/reports/costs-risks-management-disposal/>).

<sup>[8]</sup> Отчет анализа «Commission Nationale d'Evaluation relative aux recherches sur la gestion des déchets radioactifs», № 7, июнь 2001г.

<sup>[9]</sup> Отчет «La Gazette de la Société et des

Techniques» № 36, март 2006 г., сайт [http://Annales.com/gazette/Gazette\\_web\\_36bis.pdf](http://Annales.com/gazette/Gazette_web_36bis.pdf).

<sup>[10]</sup> Кистонский центр, Nuclear Power Joint Fact-

Finding, г. Кистон, штат Колорадо, июнь 2007 г., страница 18. Адрес

сайта: [www.keystone.org/spp/documents/FinalReport\\_NJFF6\\_12\\_2007\(1\).pdf](http://www.keystone.org/spp/documents/FinalReport_NJFF6_12_2007(1).pdf).

<sup>[11]</sup> Читайте статью Масако Савайя (Masako Sawai) «*Rokkasho: A Troubled Nuclear Fuel Cycle Complex*»,

журнал SDA выпуск 9, № 4. Адрес сайта [www.ieer.org/sdfiles/vol\\_9/9-4/](http://www.ieer.org/sdfiles/vol_9/9-4/).

<sup>[12]</sup> Информационное агентство «Рейтер». «*Japanese nukes could counter China –*

*politician*», за 6 апреля 2002 г. Опубликовано в г. Токио. Сайт статьи [www.nci.org/02NCI/04/japan-articles.htm](http://www.nci.org/02NCI/04/japan-articles.htm). Доступно со 2 декабря 2007 г.

<sup>[13]</sup> Кистонский центр, там же.

<sup>[14]</sup> Адрес сайта: [www.actu-environnement.com/ae/news/1872.php4](http://www.actu-environnement.com/ae/news/1872.php4)

---

## **Затраты на атомную энергию: все выше и выше**

Арджун Макхиджани

После впечатляющего краха пропаганды атомной энергетики в 50-х годах, которая, предполагалась, станет «слишком дешевой, чтобы считать», что привело к закрытию десятков атомных электростанций из-за дороговизны строительства или его завершения, в США возникает новый толчок к возрождению атомной энергетики. Некоторые сторонники ее ренессанса основывают свои заявления на понятии, что атомная энергетика станет экономичным способом наращивания новых базисных мощностей и решения проблемы глобального потепления. Другие считают, что она может стать экономически выгодной при достаточно высокой цене на выбросы углекислого газа.

### **Расчет затрат на атомную энергию**

Основные виды затрат, связанных с коммерческой атомной энергией, – это капитальные затраты на возведение электростанции. Эксплуатационные расходы включают топливо, которое, как правило, является низкообогащенным ураном; прочие текущие и эксплуатационные расходы составляют относительно небольшую долю от общих затрат на атомную энергию. Затраты на обращение с отработанным ядерным топливом и его утилизацию, а также на вывод из эксплуатации АЭС необходимо добавить к следующим двум пунктам: Капитальные затраты на атомную энергию состоят из двух основных частей:

- «Моментальные затраты» на электростанцию – это затраты, которые пришлось бы понести в том случае, если электростанцию удалось бы построить сразу.
- Дополнительные издержки в ходе строительства, в особенности, затраты на выплату процентов.

Моментальные затраты на атомную энергию – это несколько спорный вопрос. Отчет Массачусетского технологического института за 2003 год, в котором доказываются преимущества атомных электростанций, оценил их в 2000 долларов США за один киловатт (кВт.), а научная работа Чикагского университета за 2004 год оценила затраты в 1500 долларов за кВт.<sup>[1]</sup> Сегодняшние расчеты США с учетом фактического опыта Западной Европы, использующей европейский ядерный реактор с водой под давлением, намного выше.

Например, генеральный директор компании «Duke Energy», которая хочет заниматься строительством АЭС, представил свою оценку капитальных затрат, составляющую 2500-2600 долларов США за один кВт.<sup>[2]</sup> Взяв за исходную стоимость 2500 долларов за кВт, моментальные капитальные затраты на одну только электроэнергию превышают 4 цента за киловатт-час. В ходе строительства затраты могут увеличиться на 1-2 цента за кВтч., в зависимости от кредитных ставок, вознаграждений за риск и сроков возведения станции. Затраты на топливо и другие текущие и эксплуатационные расходы составляют от 1,5 до 2 центов.<sup>[3]</sup> Прибавив к этому 0,1 цента за кВтч на утилизацию ОЯТ - это действующий федеральный налог - и небольшой сбор за вывод из эксплуатации<sup>[4]</sup>, получаем суммарные затраты в размере примерно от 7 до выше 8 центов за кВтч.

Эти затраты основаны на отраслевых цифрах и предположениях людей, поддерживающих атомную энергию. Более реальный анализ был сделан объединенной комиссией по научному расследованию, куда входили специалисты атомной отрасли, а также люди, более скептически относящиеся к обновленной роли атомной энергетики. Кистонский центр собрал воедино эту информацию. Исследование затрат показало, что суммарные капитальные затраты на АЭС, в том числе проценты по кредиту в ходе строительства могут быть в размере от 3600 до 4000 долларов США за один киловатт. Суммарные расчеты затрат показаны в Таблице 1 и повторяют цифры Таблицы 6 из отчета Кистонского центра.

**Таблица 1: Расчетная стоимость электроэнергии от новых электростанций в США**

Категория затрат	Низкая планка	Высокая планка
Капитальные затраты	4,6	6,2

Топливо	1,3	1,7
Фиксированная эксплуатация и сопровождение	1,9	2,7
Меняющаяся эксплуатация и сопровождение	0,5	0,5
Итого (нормированная тарифная ставка в центах за 1 кВтч)	8,3	11,1

Источник: Кистонский центр.

Настоящий мировой опыт оказывается еще более сложным. Единственная атомная электростанция, строящаяся на Западе, которая постоянно находится на этой стадии, - это Европейский ядерный реактор с водой под давлением (ЕРВД), который возводит в Финляндии компания AREVA, французский продавец реакторов и перерабатывающее предприятие. Стоимость реактора проектной мощностью 1600 мегаватт первоначально оценивалась в 3 миллиарда евро, но на данный момент цена выросла до 4,5 миллиарда евро. По сегодняшнему валютному курсу получается около 4000 долларов за один киловатт, что является пиковым значением по расчету капитальных затрат в отчете Кистонского центра. Более того, реактор еще не достроен. Пока что сроки его окончания отодвигаются на два года.<sup>[5]</sup>

Необходимо отметить, что компания AREVA заключила с Финляндией договор на строительство реактора «под ключ», условившись оплатить все расходы в 3,2 миллиарда евро.<sup>[6]</sup> Поскольку эта компания на 85 % принадлежит французскому государству, французские налогоплательщики примут на себя основную часть перерасхода средств. Несомненно, тайную руку атомной промышленности можно найти в кошельках федеральных или местных налогоплательщиков, либо и тех и других.

### **Уолл-стрит и атомная энергия**

С 1978 года США не получили ни одного нового заказа на строительство АЭС. Последняя электростанция была фактически завершена и запущена в октябре 1973 года.

Риски атомной энергетики таковы, что финансисты на Уолл-стрит довольно скептически относятся к атомным электростанциям и ни одна компания не готова сделать заказ на АЭС без федеральных гарантий по кредиту. Поэтому, несмотря на все разговоры о «ядерном возрождении», ни одна американская компания на данный момент не заказала электростанцию, хотя некоторые предприятия уже обратились за различными лицензиями, которые необходимы для строительства АЭС. Атомная индустрия с большой протянутой шляпой ждет 100-процентных правительственных гарантий, которые могли бы снизить затраты на выплату процентов.

Компания «Moody's», принадлежащая магнатам Уолл-стрит, в октябре 2007 года рассчитала, что «полные» капитальные затраты на атомную энергию новых атомных электростанций (включая проценты в ходе строительства и модернизацию существующих комплексов с АЭС, требующих строительства) были недооценены и должны

варьироваться в пределах 5000-6000 долларов США за киловатт. Если пользоваться последними цифрами, тогда максимальный расчет затрат по атомной электроэнергии от новых электростанций в отчете Кистонского центра станет выше и составит около 14 центов за кВтч в связи с увеличением капитальных затрат с 6,2 цента примерно до 9 центов за кВтч.

### **Что думают промышленники**

Многие участники отрасли, например, глава компании «Duke Energy», понимают, что атомная энергия – дело рисковое, вот поэтому они так настойчиво и требуют государственных гарантий по кредитам. Однако некоторые потенциальные бизнесмены-атомщики до сих пор поддерживают иллюзию прошлого, из 50-х годов, о якобы дешевизне атомной энергии.

Например, в «Комплексном плане ресурсов за 2007 год» компании «PacifiCorp», западного американского поставщика электроэнергии, рассчитано, что новую электростанцию можно построить по цене 2635 долларов за один киловатт, куда входят проценты по кредиту в период строительства. Используя низкую фактическую процентную ставку по кредиту и прибыль на капитал, годовые амортизационные отчисления оцениваются лишь в 210,97 доллара США за один кВт.<sup>[7]</sup> При коэффициенте использования производственных мощностей в 85 %, это означает, что капитальные затраты на атомную энергию, могут составлять лишь 2,8 цента за кВтч в долларах США на 2006 год. Это ниже, чем оценка из отчета Массачусетского технологического института от 2003 года, да и затраты на атомные, угольные и ветровые электростанции с того времени увеличились.

Далее «PacifiCorp» дает оценку текущим и эксплуатационным расходам, которые составляют около 2,3 цента за кВтч, при этом суммарные затраты на электроэнергию равны около 5,1 цента за кВтч. Учитывая тенденцию расходов, это намного ниже, чем любая реальная оценка атомной электроэнергии, как например, в отчете Кистонского центра или фактические затраты в финском проекте EPR. Любопытно узнать, будет ли компания «PacifiCorp» придерживаться своих расчетов и выполнит ли проект «под ключ», скажем, для штата Юта на тех же условиях, что и компания AREVA сделала для Финляндии. Имеются в виду установленные фиксированные суммарные затраты, в том числе и все затраты на строительство и выплату процентов.<sup>[8]</sup>

В качестве особого примера корпорация «Alternate Energy Holdings» предлагает построить Европейский ядерный реактор с водой под давлением в округе Овайхи (Owyhee), штат Айдахо на юго-западе страны. В интервью по радио от 30 июля 2007 года<sup>[9]</sup> произошел следующий разговор радиоведущего с главой компании Доном Джиллиспаем (Don Gillispie):

Ведущий: А электростанция эта стоит 3,5 миллиарда долларов.

Г-н Джиллиспай: Да. Они стоят недешево. Новые электростанции дают очень дешевую электроэнергию, но капитальные затраты на них очень высокие. Вы наверное знаете, что обычно капитальные затраты при любых инвестициях не несут, точнее, несут инвесторы в большей степени, а также кредиторы, но, по существу, мы можем получать электроэнергию по 1-2 цента за киловатт-час. В

США нет ничего подобного. Единственный источник, близкий к этому – это гидроэнергетика. Безусловно, мы не опираемся на ГЭС. В США гидроэнергетика занимает шесть процентов от общего источника энергии.

Хотя отчасти заявление г-на Джиллиспая о том, что значительное расширение гидроэнергетики не является жизнеспособным методом, выглядит реалистично, - остальные же его реплики вводят в заблуждение. Во-первых, текущие расходы на топливо и не только вряд ли будут равны одному центу за кВтч. Более высокая оценка в 2 цента была бы приемлемее для текущих затрат, где не рассчитан последний рост цен на уран. Учитывая высокие цены на уран и нехватку специалистов, текущие и эксплуатационные затраты могут быть заметно выше. Отчет Кистонского центра рассчитал эти расходы в пределах от 3,7 до 4,9 цента за кВтч (см. Таблицу 1). Даже компания «PacifiCorp» оценила затраты на уровне около 2,3 цента за кВтч.

Во-вторых, хотя инвесторы и кредиторы обычно предоставляют капитал, но с их стороны это не государственная услуга или благотворительная акция. Все делается для получения прибыли с инвестированного капитала. Учитывая рискованность атомных проектов, инвесторы, как правило, могут требовать вознаграждение за инвестиции в эти проекты. Эти затраты включены в тарифы на электроэнергию и их должны оплачивать потребители, то есть, граждане и предприятия штата Айдахо, которые покупают эту электроэнергию и люди, не живущие в этом штате, которые могут покупать ее. Эти затраты, в том числе проценты по кредитам в ходе строительства, могут составлять от 4 до 6 центов за кВтч, а может и больше.

### **Альтернативы атомной энергии**

Помимо всего вышесказанного, существует настоящий риск того, что АЭС будут экономически точно необоснованными до завершения строительства. Ветроэнергетика уже намного выгоднее атомной энергии. Расширение ветровых мощностей происходит очень динамично, в особенности, в некоторых районах США.

Обзор затрат по солнечным фотогальваническим элементам (ФЭ), сделанный в моей книге «Без углекислого газа и атомной энергии», показывает, что установленные затраты на солнечные ФЭ в следующие десять лет скорее всего составят 2000 долларов США за один киловатт или меньше в периоды пиковых нагрузок.<sup>[10]</sup> Министерство энергетики США ожидает, что солнечная энергетика через несколько лет станет конкурентоспособной. Министерство утверждает, что солнечная энергетика находится «на пути сокращения стоимости электроэнергии, полученной за счет ФЭ, с сегодняшних значений в 0,18-0,23 до 0,05-0,10 доллара за кВтч к 2015 году – цена, которая является конкурентоспособной в стране».<sup>[11]</sup>

Учитывая этот прогноз, затраты на солнечную электроэнергию могут быть примерно эквивалентны или меньше затрат на атомную энергию к 2015 году, что является наиболее ранней датой, когда в США могла бы начать работу новая АЭС. Далее, - солнечная энергия в среднем масштабе, например, получаемая с помощью установок на огромных промышленных крышах зданий и больших стояночных крышах (см. фото ниже), не будет иметь добавленных затрат на линии электропередачи или распределение,

в отличие от атомной энергии. Если подобные установки будут обеспечивать энергией целые районы, некоторые затраты на распределение энергии необходимо будет понести, поскольку наверняка потребуются инвестиции в модернизацию систем распределения. Как правило, эти затраты могут составить 1-2 цента за кВтч.



Солнечная роща, Сан-Диего, Калифорния. Крытая зона парковки для автомобилей центрального североамериканского отделения компании «Kyocera» – это 25-панельная система, генерирующая 235 киловатт солнечной электроэнергии, которая также служит крышей для 186 автомобилей. (Авторское право 2007, корпорация «Kyocera Solar, Inc.». Все права защищены.)

Если расходы на поставку солнечной электроэнергии в коммерческий сектор варьируются в пределах от 5 до 10 центов за кВтч и если эти расходы для жилищного сектора находятся в пределах 7-12 центов, то очень скоро новые атомные электростанции станут экономически нецелесообразными, возможно, еще до того, как заработает первый пример «атомного возрождения».

Сегодня атомная энергетика как минимум настолько же опасна, какой была в 70-е годы, когда страну захлестнул наплыв заказов на электростанции, что затем привело к их массовому закрытию и десяткам миллиардов долларов растроченных средств. Придется ли потребителям и налогоплательщикам вновь выручать атомную отрасль, влезаящую в десятки миллиардов долларов дополнительных расходов? Это уже однажды было в виде «странных затрат» в 90-е годы, когда атомные предприятия не регулировались государством.

В этот раз ставки гораздо больше, чем только лишь деньги. Времени у нас мало, и оно слишком дорого, чтобы тратить его на хождение ложными экономическими тропами, в особенности, такими, которые лишь умножают уже существующие проблемы с ядерными отходами и распространением ядерного оружия. Те, кто утверждает, что атомная энергетика должна «оставаться в наличии» как один из вариантов, обязаны нести бремя доказательств, поскольку IEEER уже продемонстрировал, что создание надежной энергосистемы должно происходить без применения атомной энергетике и ископаемого



топлива (читайте сопроводительную статью «Надежная энергосистема с возобновляемыми источниками энергии»).

<sup>[1]</sup> Массачусетский технологический

институт, отчет «Будущее атомной энергии: междисциплинарная работа» (*The Future of Nuclear Power: An Interdisciplinary MIT Study*) (Кембридж: МИТ, 2003 г.), размещен на сайте: [at http://web.mit.edu/nuclearpower](http://web.mit.edu/nuclearpower); Чикагский университет, научная работа «Экономическое будущее атомной энергии» (*The Economic Future of Nuclear Power*), Чикаго: Университет, август 2004 г., размещена на сайте [http://www.anl.gov/Special\\_Reports/NuclEconAug04.pdf](http://www.anl.gov/Special_Reports/NuclEconAug04.pdf); а также статья Брайса Смита (Brice Smith) «Непоправимые риски: опасности применения атомной энергии в решении глобального изменения климата» (*Insurmountable Risks: The Dangers of Using Nuclear Power to Combat Global Climate Change*) (Такома Парк, шт. Мэриленд: IEER Пресс; г. Маскигон, шт. Мичиган: RDR Books, 2006 г.).

<sup>[2]</sup> Комиссия по энергоснабжению Северной Каролины, «*In the Matter of: Application for Approval for an Electric Generation Certificate to Construct Two 800 MW State of the Art Coal Units for Cliffside Project in Cleveland/Rutherford Countie*». E-7, Sub 790-вып. 6, 19 января, 2007 г.

<sup>[3]</sup> Институт атомной энергетики (Nuclear Energy Institute) предоставляет затраты на топливо от 2006 года, равные 0.46 цента за кВтч, а также другие затраты на эксплуатацию и содержание, равные 1.26 цента за кВтч, общие затраты на эксплуатацию в 2006 году составили 1.72 цента за кВтч. Адрес сайта [www.nei.org/resourcesandstats/nuclear\\_statistics/costs](http://www.nei.org/resourcesandstats/nuclear_statistics/costs).

<sup>[4]</sup> Комиссия по ядерному регулированию (Nuclear Regulatory Commission) рассчитала, что закрытие и вывод из эксплуатации реактора «может обойтись в 300 миллионов долларов или больше...». Читайте информацию на сайте [www.nrc.gov/reading-rm/basic-ref/students/decommissioning.html](http://www.nrc.gov/reading-rm/basic-ref/students/decommissioning.html). Кистонский отчет оценил затраты на выведение из эксплуатации в 500 миллионов долларов США. Основываясь на этих данных, затраты могут быть менее 0,1 цента за кВтч. Кистонский центр, отчет о расследовании «*Nuclear Power Joint Fact-Finding*» (г. Кистон, штат Колорадо: Кистонский центр, июнь 2007 г.), адрес сайта [www.keystone.org/spp/documents/FinalReport\\_NJFF6\\_12\\_2007\(1\).pdf](http://www.keystone.org/spp/documents/FinalReport_NJFF6_12_2007(1).pdf).

<sup>[5]</sup> Мириам Шаво (Myriam Chauvot) «Les nouveaux retards de l'EPR finlandais vont peser sur les comptes d'Areva», от 13/08/07, адрес статьи: [://www.lesechos.fr/info/energie/4610065.htm](http://www.lesechos.fr/info/energie/4610065.htm).

<sup>[6]</sup> Доминик Войне (Dominique Voynet), «Coût du nucléaire français à l'exportation pour le contribuable», 21 июня 2006 года, сайт: <http://dominiquevoynet.net/v2/index.php/2006/06/21/18-cout-du-nucleaire-francais-a-exportation-pour-le-contribuable>.

<sup>[7]</sup> Компания «PacificCorp» применила коэффициент выплат, составляющий лишь 8,01 процента для расчета годовых затрат на инвестиции в 2635 долларов. Интересно, что компания приняла во внимание более высокий показатель выплат на ветроэнергетику в 9,48%. Компания «PacificCorp», 2007 год, «Комплексный план ресурсов» (*Integrated Resource Plan*), PacificCorp: г. Портленд, шт. Орегон, 2007г, стр. 95, сайт: <http://psc.state.wy.us/htdocs/download/irp/2007PacificCorpIRP.pdf>.

<sup>[8]</sup> Питер Брэндфорд (Peter Bradford), бывший член Комиссии США по ядерному регулированию (Nuclear Regulatory Commission), сказал об этом в ходе своего визита 2 ноября 2007 года как о стратегии властей штата Юты. В комплексном плане ресурсов компании «PacificCorp» говорится, что она рассматривает атомную энергетику как перспективный «жизнеспособный метод».

<sup>[9]</sup> Размещено на сайте: [www.alternateenergyholdings.com/news.html](http://www.alternateenergyholdings.com/news.html), доступно с 26 ноября, 2007 г.

<sup>[10]</sup> Статья Арджуна Макхиджани «Без углекислого газа и атомной энергетики: план энергетической политики США» (*Carbon-Free and Nuclear-Free: A Roadmap for U.S. Energy Policy*) (Такома Парк, шт. Мэриленд: IEER Пресс; г. Маскигон, шт. Мичиган: RDR Books, 2007 г.), стр. 37-40, размещена на сайте [at http://ieer.org/resource/reports/carbon-free-and-nuclear-free/](http://ieer.org/resource/reports/carbon-free-and-nuclear-free/).

<sup>[11]</sup> Министерство энергетики США. МЭ отобрало 13 проектов по генерированию солнечной энергии с финансированием до 168 миллионов долларов: первые финансовые награды за инициативу солнечной энергии в Америке с целью создания экономически конкурентной солнечной технологии к 2015 году (Вашингтон, округ Колумбия: МЭ, Управление общественными делами, 8 марта, 2007 г., сайт: [www.energy.gov/news/4855.htm](http://www.energy.gov/news/4855.htm)).

<sup>[12]</sup> там же, цитата из статьи Арджуна Макхиджани, 2007 г.

---

## Надежная энергосистема США на возобновляемых источниках энергии

Арджун Макхиджани<sup>11</sup>

Может ли энергетическая система, которая целиком основана на возобновляемых источниках энергии, быть как минимум такой же надежной, как действующая сегодня в США? Отсутствие четкого ответа на этот вопрос до сих пор убеждало многих думающих людей в том, что атомная энергия должна «оставаться в резерве», так как мы постепенно прекращаем применение ископаемых видов топлива, особенно угля, для генерирования электроэнергии из-за проблем, связанных с изменением климата.

Сегодня уголь – это топливо, занимающее примерно половину всего энергопотребления США. На ядерное топливо и топливо из природного газа приходится по 19 %. Почти все остальное топливо поступает из гидроэнергетики, геотермальных источников и древесных отходов. Ветер и солнце занимают менее одного процента, что в основном относится к ветру. Выработка электричества происходит чрезвычайно централизованным образом, 95% энергии генерируют крупные электростанции.

Нет сомнения, что эти ресурсы существуют для перехода на целиком возобновляемую энергосистему. Одни только наземные ветроэнергетические ресурсы 20 основных ветровых штатов страны примерно в два с половиной раза превышают объем всего производства электроэнергии в США. В термодинамическом отношении они приблизительно сопоставимы объемам всей нефтедобычи стран-членов ОПЕК (Организация стран-экспортеров нефти) вместе взятых. Существует также дополнительный потенциал морских ветроресурсов. Ресурсы солнечной энергии хотя бы от одного процента на всей территории США, преобразованные в электроэнергию при 20% эффективности, втрое богаче ветровых ресурсов.

Вплоть до недавнего времени основная проблема возобновляемых источников энергии заключалась, если сравнить с ископаемым топливом, в экономике. Однако здесь не учитываются затраты на выбросы углекислого газа, который серьезно нарушает мировой климат. И более чем за десять лет ветроэлектричество стало таким же экономичным источником, как и атомная энергия, хотя и не сравнимо с экономичностью угля, без учета затрат на выбросы CO<sub>2</sub>.

Как отмечено в сопроводительной статье о затратах на атомную энергию («Затраты на атомную энергию: все выше и выше»), затраты на производство солнечной фотогальванической электроэнергии (ФЭ) быстро снижаются, а на атомную электроэнергию - растут. Затраты на среднемасштабное и крупномасштабное применение солнечного фотоэлектричества примерно эквивалентны затратам на электроэнергию, генерируемую в периоды пиковых нагрузок с применением одноступенчатых турбин на природном газе. Ожидается, что примерно через десять лет стоимость солнечной фотоэнергии сократится до 10 центов за кВтч или ниже.

Далее, сегодня солнечные тепловые электростанции начинают широко применять после почти двадцатилетнего перерыва.<sup>[2]</sup> Например, крупное предприятие Северной Калифорнии PG&E договорилось о покупке 553 мегаватт энергии у солнечной тепловой электростанции, которую должны построить в пустынном районе Северной Калифорнии. К 2020 году компания по поручению штата планирует расширить объемы закупок солнечной тепловой энергии до 1000 мегаватт.<sup>[3]</sup>

## **Перебои с энергией**

Основной проблемой ветра и солнца является их непостоянство. Солнечная энергия по определению является дневным источником энергии, и ее наличие меняется в зависимости от времени года, в большей степени это происходит в северных широтах. Ветровая энергия также непостоянна, может серьезно меняться за один час и день, к тому же имеются еще и сезонные колебания. Однако это непостоянство при получении энергии не является препятствием для перехода к надежному энергетическому сектору с возобновляемой энергией, если такие источники будут включены в энергосистему в плановом порядке и при надлежащем внимании к географическому и другим факторам, а также резервным мощностям.

На сегодняшний день около 0,7 процента энергоснабжения США обеспечивает ветровая и солнечная энергии, но преимущественно вся - ветровая. Увеличение ветровой энергии до 10 процентов или выше от общего генерирования электроэнергии, с обеспечением при этом надежности ее поступления, оказалось выполнимо для Европы. Например, для Дании, где около 20% энергии вырабатывается за счет ветра. Увеличение ветроэлектричества до нескольких процентов требует наращивания дополнительных резервных мощностей для того, чтобы обеспечивать надежность этой энергосистемы.

Разработка ветроресурсов с использованием огромных районов, где они доступны, дает большие преимущества в сокращении времени, когда общее генерирование энергии за счет ветра является низким. Исследования показали, что затраты на интеграцию ветровой энергии в единую энергосистему могут оставаться умеренными или низкими до довольно высоких степеней проникновения, если систематически учитывать географическое распространение, как один расчетный коэффициент при использовании этого ресурса.

Например, научное исследование, проведенное по заказу властей штата Миннесота, показало, что способность прогнозировать наличие ветровых ресурсов значительно выросла, когда повысили географическое многообразие генерирования энергии ветра. Территориальное рассредоточивание ветротурбин не только сокращает периоды отсутствия или наличия малых объемов ветровой энергии, но и улучшает надежность прогнозирования ветра, на чем и основывается необходимость в резервных мощностях. Один из выводов заключался в том, что резервные требования к энергосистеме штата Миннесота должны были вырасти с 5 процентов при нулевой генерации ветровой энергии до более 7 процентов при 25-процентном производстве электричества за счет ветра. Это довольно умеренные затраты. В энергосистеме США имеется достаточное количество резервных мощностей, которые способны удовлетворить такой дополнительный спрос.

В новом научном исследовании, проведенном в Стэнфордском университете, сделаны еще более серьезные выводы. В работе изучались ветряные фермы, распределенные на территориях пяти штатов – Нью-Мексико, Колорадо, Канзас, Оклахома и Техас:

Было установлено, что в качестве надежной базисной энергонагрузки может использоваться в среднем 33% и максимально 47 % ветровой энергии от объединенной системы ветряных электростанций. Также важно, что подсоединение многих ветряных ферм к общей точке, затем соединение этой точки с отдаленным городом может сократить протяженность передаваемых мощностей, например, на 20% с потерей энергии лишь на 1,6%.

Доля надежной мощности может также увеличиться за счет координированного прироста мощностей с солнечной энергией. Ветер зачастую усиливается в ночное время, так что крайне выгодно соединить развитие производства ветровой и солнечной энергии таким образом, чтобы сократить затраты на эту самую надежность.

### **Общее планирование надежности**

Какой бы способ перспективного развития энергетического сектора не был выбран, планирование на различных уровнях власти – местной, штата, региональной и федеральной – крайне необходимо для поддержания надежности системы, не говоря уже о повышении этой надежности.

Ветровую и солнечную энергию можно и нужно сочетать с резервом гидроэнергетики и природным газом. При сегодняшних ценах на природный газ, которые превышают 6,50 доллара США за один миллион Бте, экономически выгодно использовать природный газ в качестве резерва для энергии ветра. Пока стоимость солнечной фотоэнергии снижается до примерно 10 центов за кВтч (это приблизительно 50 процентов от сегодняшнего уровня в 20 центов за кВтч), резервные запасы природного газа можно также использовать в целях экономии при использовании солнечной электроэнергии. Никаких дополнительных мощностей для использования природного газа наращивать не потребуется, поскольку их в стране и так в избытке. В 2006 году использование в сфере электрических услуг мощностей для генерирования природного газа составило ниже 19%. Это потому, что огромное количество мощностей для использования природного газа было создано в 90-е и первые годы этого десятилетия с расчетом на то, что цены на него останутся на низком уровне. Однако ничего подобного не произошло. Эта экономическая ошибка дает отличную возможность не только минимизировать применение природного газа при быстром росте доли участия солнечной и ветровой энергии в электроэнергетическом секторе, но и обеспечить общую стабильность этой системы. Этот вывод необходимо объяснить более подробно для развития возобновляемой энергии в любой энергосистеме, которая функционирует в США, а также в целом для трех регионов в 48 штатах – Восточного, Западного объединений и энергосистемы Техаса, известной как ERCOT (Совет энергетической надежности штата Техас).

При надлежащем планировании и правилах относительно эффективности, требуемых резервных мощностей, координации развития солнечной и ветровой энергии для

повышения надежности системы, не должно быть никаких проблем с повышением доли участия возобновляемых источников энергии и ТЭЦ примерно с 5% на сегодняшний день до около 40 % в 2030 году (без учета гидроэнергии). Более скорый переход также возможен при условии правильной координации и политики.

Через 15-20 лет могут потребоваться серьезные мощности для накопления энергии и некоторые мощности базисных нагрузок, которые работают на источниках энергии под контролем оператора, для замещения угля и атомной энергии. Возможно, спрос на такие мощности можно минимизировать за счет строительства «умной энергосистемы», чтобы определенные виды бытовых и офисных электроприборов функционировали именно в периоды наличия возобновляемого электричества. Однако каким бы ни был выбранный способ, для надежности системы потребуются серьезные объемы резервной энергии и базовые компоненты.

Во-первых, необходимо отметить, что на развитие и внедрение подобных технологий в серьезных масштабах уйдет пятнадцать-двадцать лет. К источникам базисных и квазибазисных мощностей относятся:

- Твердые биомассы, например, высушенные водоросли или высокопроизводительные водоросли
- Геотермальная энергия горячих пород
- Солнечные тепловые электростанции с 12-часовым накоплением энергии

Тепло-гидроэлектростанция, а также энергетические и резервные установки комбинированного цикла, работающие на биогазе, способны обеспечивать для системы дополнительные элементы надежности и гибкости.

Существует ряд технологий энергонакопления, которые могли бы быть использованы, в том числе:

- Аккумуляция энергии в сжатом виде в подземных пещерах
- Готовые к работе стационарные аккумуляторные батареи
- Аккумуляторы в электромобилях и/или подключаемые гибриды, которые подсоединяются к общей энергосистеме на время парковки автомобиля – система, которая называется «технология подключения автомобилей к энергосистеме» (или “vehicle to grid” (V2G)). Систему V2G можно комбинировать с развитием солнечной ФЭ в среднем и малом масштабах. Компания Google совместно с компанией PG&E начала развивать эту идею.

Технология аккумуляции и сохранения энергии путем закачки сжатого воздуха уже продемонстрирована. Разработаны стационарные аккумуляторные батареи, прежде всего натриево-серные. В сентябре 2007 года в городе Колумбус, штат Огайо, компании «Tokyo Electric Power» и «American Electric Power» торжественно открыли демонстрационный проект первой натриево-серной аккумуляторной батареи.<sup>[41]</sup> Эти батареи были также протестированы в Японии.

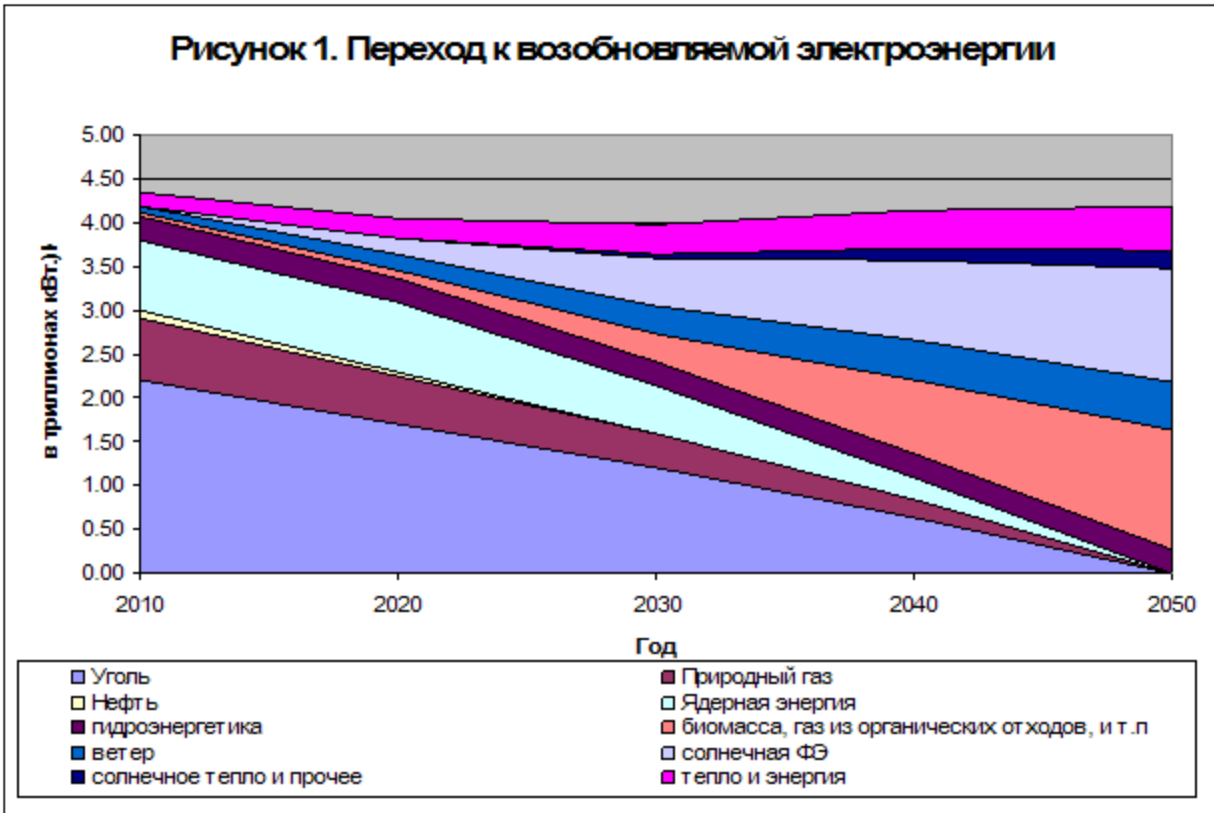
Если государственная политика сделает соответствующий сильный акцент на подключаемые гибриды и электромобили в предстоящем десятилетии, есть все шансы, что одна или несколько технологий по энергонакоплению будут освоены и поставлены на коммерческую основу в рамках развития электромобилей. Электромобили или подключаемые гибриды способны сделать накопление электроэнергии еще дешевле аккумуляторных батарей, если зарядка или разрядка батарей происходит намного дольше, чем это необходимо для эксплуатации автомобиля в течение всего срока службы, то есть около десяти лет. Американская компания «Altairnano», город Рино, штат Невада, уже создала ионно-литиевые батареи, которые прошли такую проверку. В 2007 году компания «Phoenix Motor Car» приступила к установке этих батарей в электрогрузовик. Такие аккумуляторы до сих пор стоят очень дорого, отчасти из-за новизны самой технологии, а отчасти из-за небольшого производственного масштаба.

Система V2G была бы особенно привлекательной в форме аккумулирования электроэнергии. У автомобилей намного больше установленной мощности, чем у электрической системы и, кроме того, более 90% времени они не используются. Несколько процентов автомобилей, подсоединяемых в любое время к энергосистеме под контролем этой энергосистемы, могли бы обеспечить аккумулирование и снабжение электроэнергией, которая необходима для поддержания надежности энергосистемы.

На Рисунке 1 показан один из возможных вариантов перехода с сегодняшнего централизованного энергетического сектора, где используется ископаемое топливо и преобладает атомная энергия, к распределенной энергосистеме, полностью основанной на возобновляемой энергии.

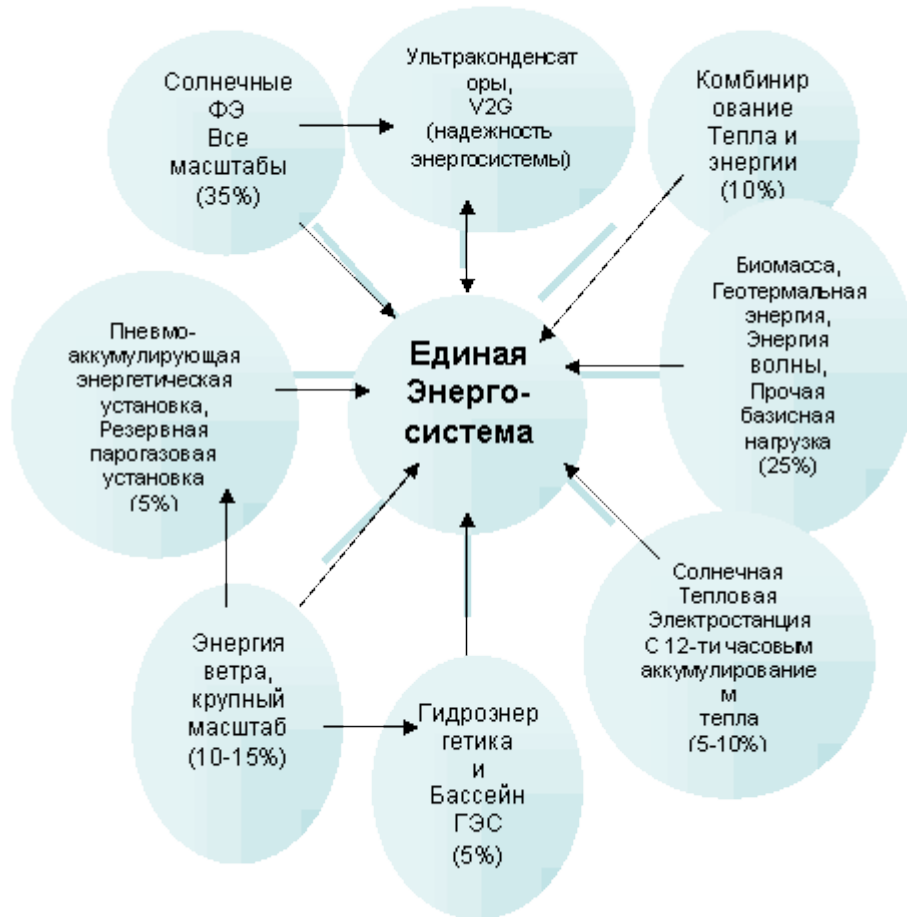
Отметим крайнюю необходимость эффективности использования энергии. Спрос на электроэнергию может оставаться на неизменном уровне даже когда электромобили запустят в производство, поскольку дома и офисные здания способны еще эффективнее использовать энергию. Неэффективное потребление энергии в домах и коммерческих зданиях, а также в оборудовании сегодня очень велико. Лампы накаливания, самый обычный тип освещения, преобразуют лишь около 3 процента в электроэнергию в освещение. Компактные флуоресцентные лампы в три-четыре раза эффективнее ламп накаливания. Светоизлучающие диоды намного эффективнее. Новые технологии освещения, например, светопровод, где сочетается солнечный свет и источники электрического освещения для обеспечения постоянного внутреннего освещения, находятся в процессе коммерциализации. Похожие возможности существуют также и в других областях использования электроэнергии.





При разумном подходе к эффективности и соответствующих правилах координации развития возобновляемых источников энергии, а также инвестициях в технологии энергонакопления, энергосистема, полностью основанная на возобновляемой энергии, не просто технически выполнима – это самый желанный проект с точки зрения экологии и здравоохранения. Общие затраты на энергетические услуги должны оставаться примерно в том же соотношении с ВВП, что и сегодня. Однако предполагается рост инвестиций для повышения эффективности нового генерирования энергии по сравнению с сегодняшним днем.

На Рисунке 2 схематично представлена энергосистема, полностью состоящая из возобновляемых источников энергии. Для удобства чтения она вторично опубликована в этом выпуске (схема также представлена в выпуске 15, номер 1 журнала SDA).



Распределенная энергосистема, которая показана на Рисунке 2, может быть как минимум столь же надежной и намного безопаснее, чем сегодняшняя централизованная энергосистема. Например, если бы произошло что-то подобное тому, что вызвало самые серьезные перебои с энергией (в 1965 году в Нью-Йорке, в 2003 году в штатах Атлантического побережья США), с единой системой ничего бы не случилось – местные источники электроэнергии и устройства энергонакопления продолжали бы удовлетворять основные потребности в энергии. Террористическая атака на один или несколько основных пунктов инфраструктуры ЛЭП также не приведет к нарушению всей системы. Благодаря серьезному сокращению негативных последствий подобных атак, вероятность нападения на энергосистему крайне невелика.

## Вывод

Сегодня много тех, кто заявляет, что атомную энергию «нужно оставить про запас», поскольку надежной энергосистеме без нее не обойтись. Но такое мнение не подкреплено тщательным анализом, который бы доказывал реальную необходимость атомных электростанций. Данный анализ показывает, что ни уголь, ни атомная энергия не нужны

для надежной и безопасной электроэнергетической системы, тем не менее, потребуется тридцать-сорок лет на то, чтобы полностью осуществить переход к энергосистеме, основанной на возобновляемой энергии. Такой переход требует осторожного и особого внимания к вопросу эффективности, многообразию возобновляемых источников энергоснабжения, резервным мощностям и накоплению энергии, при этом последний фактор очень важен при высоких степенях проникновения в энергосистему. Суть дела ясна: уголь и атомную энергию можно и нужно вытеснить одновременно из электроэнергетического сектора.

<sup>[1]</sup> Статья основана на работе Арджуна Макхиджани «Без углекислого газа и атомной энергии: план энергетической политики США» (*Carbon-Free and Nuclear-Free: A Roadmap for U.S. Energy Policy*), IEER Пресс и RDR Пресс, 2007 г., если не обусловлено иное, рекомендуются разделы по ветровой и солнечной энергии, главы 3 и 5. Ссылки можно найти там же.

<sup>[2]</sup> Солнечные тепловые электростанции мощностью несколько сот мегаватт были построены в Калифорнии в 1980-е годы.

<sup>[3]</sup> Статья Дэвида Р. Бейкера (David R. Baker), «Компания PG&E применяет технологию солнечной тепловой энергии» (“PG&E Embraces Solar Thermal Power Technology,”), газета *San Francisco Chronicle*, 5 ноября 2007 г., сайт статьи [www.sfgate.com/cgi-bin/article.cgi?f=/c/c/2007/11/05/BUBTT5KM2.DTL..](http://www.sfgate.com/cgi-bin/article.cgi?f=/c/c/2007/11/05/BUBTT5KM2.DTL..)

<sup>[4]</sup> «Компания АЕР впервые в США инициирует применение стационарной натриево-серной аккумуляторной батареи» 23 сентября, 2007 г., сайт: [www.aep.com/newsroom/newsreleases/default.asp?dbcommand=displayrelease&ID=956](http://www.aep.com/newsroom/newsreleases/default.asp?dbcommand=displayrelease&ID=956), просмотр доступен со 2 декабря, 2007 г.

---

## [Энергетика и Безопасность](#) | (английский вариант)

### [Институт исследований энергетики и окружающей среды \(IEER\)](#)

Ваши вопросы и замечания посылайте директору по внешним связям: [ieer@ieer.org](mailto:ieer@ieer.org)  
Такома Парк, Мэриленд США

2008 г. (Английский вариант издания был опубликован в 2008 г.)

Опубликовано в Интернете в 2008 г.