

Стоимость ядерного и обычного производства базовой электроэнергии

Во многих странах ядерная энергетика остается экономически выгодной

Р.М.С. Джонс и Дж. Войт

Знание размеров инвестиций в ядерное и обычное производство электроэнергии важно для принятия решений при выборе топлива в деле будущего энергообеспечения и для реализации базовых энергетических проектов.

Даже поверхностное изучение имеющейся информации показывает, что затраты на недавно построенные атомные электростанции составляют от 1300 до 6000 долл. США на киловатт электрический (кВт эл.). Такой широкий диапазон инвестиций объясняется различиями в осуществлении проектов; регламентационных подходах; факторах, связанных с размещением станций (например, площадка для многоблочной станции, сейсмичность, инфраструктура); конструкции станций (включая уровень стандартизации); стоимости блоков (например, наличие местных материалов и рабочей силы) и калькуляции (включение или исключение процента во время строительства, инвентарные количества топлива и тяжелой воды, исходная дата затрат, валютный курс).

Для проектов, требующих больших затрат, характерны трудности с осуществлением строительства и установлением регламентационных процедур. Эти факторы ведут также к затягиванию сроков строительства до 14 лет, а некоторые незаконченные проекты могут потребовать еще большего времени.

Проекты с небольшими затратами и сроками строительства в 5–6 лет (один блок) отличаются эффективностью их осуществления, хорошо налаженным обменом опытом, достаточно детальной проработкой проекта и решением регламентационных проблем до начала строительства.

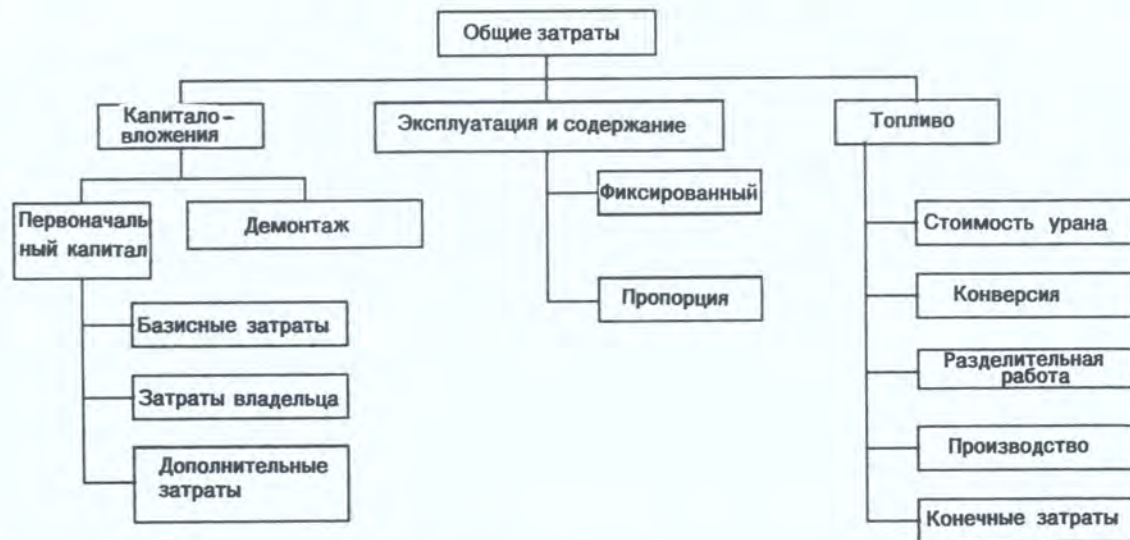
Проф. Джонс — главный экономический советник в АEA Technology, Лондон, а г-н Войт — сотрудник Отдела ядерной энергетики МАГАТЭ. Авторы этой статьи являлись членами Рабочей группы по затратам на производство электроэнергии ОЭСР, которая подготовила доклад под названием *Prospected Costs of Generating Electricity from Power Stations for Commissioning in the Period 1995–2000* («Планируемые расходы на производство электроэнергии на станциях, подлежащих демонтажу в период 1995–2000 гг.»). Результаты и часть доклада используются в настоящей статье.

Обмен опытом осуществляется путем сотрудничества электроэнергетических компаний, промышленников и регламентирующих органов, а также стандартизации и репликации. Похоже на то, что многие уроки строительства и эксплуатации уже усвоены. Новые и модифицированные проекты своевременно представлялись для регламентационного изучения с тем, чтобы одобрить и укомплектовать их до начала строительства.

Принимаются меры по установлению международных критериев безопасности и лицензирования и более предсказуемых регламентационных процедур. Это должно способствовать тому, чтобы выгодами, полученными наиболее удачливыми странами, пользовались и другие. (См. прилагаемую диаграмму.) Они учитываются в определенной степени в последних инвестиционных исследованиях МАГАТЭ и Организации экономического сотрудничества и развития (ОЭСР).

Средства сокращения капиталовложений в атомные электростанции
● Полезность обмена опытом – Серийность, стандартизация, размещение на площадке
● Осуществление технического прогресса – Проектирование – Методы строительства
● Повышение качества и количества планирования – Укомплектованный детально проработанный проект – Решение политических и регламентационных проблем до начала строительства
● Совершенствование осуществления проекта – График работ – Контроль за расходами
● Достижение хорошего рабочего режима

Виды затрат на производство электроэнергии



Примечание. Первоначальные капитальные затраты включают в себя все прямые и косвенные расходы на строительство и пуск станции. Дополнительные расходы связаны с транспортировкой, страхованием, запасными частями и непредвиденными обстоятельствами. Все статьи расходов включают в себя реальный процент (и реальную шкалу надбавок и скидок, где это возможно). Исключение составляют затраты, связанные с общей инфляцией; энергосистемой (например, расходы на передачу электроэнергии, на энергетический резерв); налогами на прибыль электроэнергетической компании; факторами, влияющими на национальную экономику, включая расходы и доходы от развития промышленности и инфраструктуры; здравоохранением и экологией, и риском, не охватываемым страхованием.

Резюме исследований МАГАТЭ и ОЭСР по затратам

Группа экспертов государств-членов ОЭСР, МАГАТЭ и Международного союза производителей и распределителей электроэнергии (UNIPED) провела недавно с использованием согласованной экономической методологии оценку планируемых и выравненных затрат на производство электроэнергии на базовых станциях, которые будут введены в эксплуатацию в недалеком будущем.* Планируемые затраты были получены и оценены для атомных электростанций и станций на ископаемом топливе (главным образом на угле), могущих войти в строй в середине и конце 90-х годов.

* См. доклад "Electricity Generation Costs Assessment Made in 1987 for Stations to be Commissioned in 1995" ("Оценка затрат на производство электроэнергии, проведенная в 1987 г. для станций, которые будут введены в действие в 1995 г."), представленный UNIPED на конгрессе в Сорренто (1988 г.); *Projected Costs of Generating Electricity from Power Stations for Commissioning in the Period 1995-2000* ("Планируемые затраты на производство электроэнергии на электростанциях, подлежащих демонтажу в период 1995-2000 гг."), доклад Рабочей группы ОЭСР/Агентства по ядерной энергии/Международного энергетического агентства (1989 г.); и *Projected Costs of Nuclear and Conventional Baseload Electricity Generation in some IAEA Member States* ("Планируемые расходы на базовое производство ядерной и обычной электроэнергии в некоторых государствах-членах МАГАТЭ"), IAEA-TECDOC-569 (1990 г.).

Метод и предположения

Затраты на производство электроэнергии включают в себя все расходы электроэнергетической компании, присущие рассматриваемым станциям, в твердой валюте. Сюда относятся все капитальные затраты (включая реальные платежи процентов во время строительства), расходы на топливо, эксплуатацию и содержание, на обращение с отходами, на демонтаж и на страхование станции. Исключаются налоги на доходы и прибыль, расходы на передачу электроэнергии и другие расходы, присущие всей системе предприятия, вместе с внешними затратами, связанными, например, с охраной окружающей среды. (См. прилагаемую диаграмму.) Однако следует отметить, что все генерирующие установки и их топливные циклы эксплуатируются в соответствии с действующими и планируемыми национальными и международными правилами и обязательствами относительно безопасности и экологического контроля с тем, чтобы удерживать потенциально вредные воздействия на приемлемых уровнях. Особое внимание уделялось сравнению атомных электростанций и станций, работающих на угле, по каждой стране.

Читателю не рекомендуется сравнивать абсолютные затраты стран в связи с существенными различиями в их экономических и социальных системах, а также в решении проблем обращения с радиоактивными отходами, демонтажа установок и охраны окружающей среды. Например, в большин-

стве стран ОЭСР законы об охране окружающей среды предусматривают десульфурацию топочных газов (ДТГ), а в некоторых странах также уменьшение содержания окислов азота на новых угольных электростанциях. С другой стороны, большинство стран, не входящих в ОЭСР, до сих пор не ввели в практику ДТГ. Но шесть из восьми таких стран включили ДТГ в планы расходов для будущих угольных станций. Затраты на производство электроэнергии на угольных станциях, на которых предусмотрено уменьшение содержания окислов серы и азота, предполагаются на 15–20 % выше, чем на станциях, где оно не предусмотрено.

Предположения по демонтажу станций меняются аналогичным образом: все страны ОЭСР включили демонтаж в оценки расходов, тогда как четыре страны, не входящие в ОЭСР, не сделали этого. Для возможности сравнения было принято общее предположение относительно расходов на демонтаж для исходных смет в упомянутых четырех странах.

Капиталовложения

Для некоторых стран были рассмотрены различные способы уменьшения капиталовложений в атомные электростанции по сравнению с предшествующими. При этом предполагается, что проект осуществляется надлежащим образом, его финансирование обеспечивается и детально разработанный проект укомплектован и одобрен регламентирующим органом до начала строительства, т.е. сделано все, чтобы исключить дорогостоящие модификации проекта и задержки в строительстве. Степень использования или планирования методов выбора многоблоковой площадки, стандартизации, модуляризации, передовых технологических и строительных методов в разных странах различна.

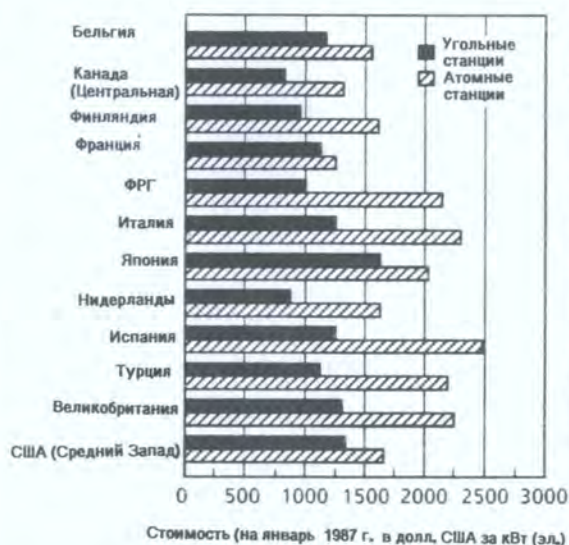
Между странами остаются существенные различия в предполагаемых объемах капитальных затрат. Они связаны с различиями в фактических издержках (т.е. расходах на строителей и строительные материалы), проекте, регламентационных подходах, выборе площадки и обменных курсах валют, которые зачастую неадекватно отражают различия в покупательной способности стран. Различны также уровни неопределенностей в расходах, вызываемых различием в уровнях ядерной деятельности. (См. прилагаемые графики.)

Затраты на производство электроэнергии

Были подготовлены два варианта расчетов выравненных затрат на производство электроэнергии: один со специфическими для страны предположениями по учетной ставке, сроку службы станции, режиму работы и демонтажу; другой – общий эталонный вариант предположений.

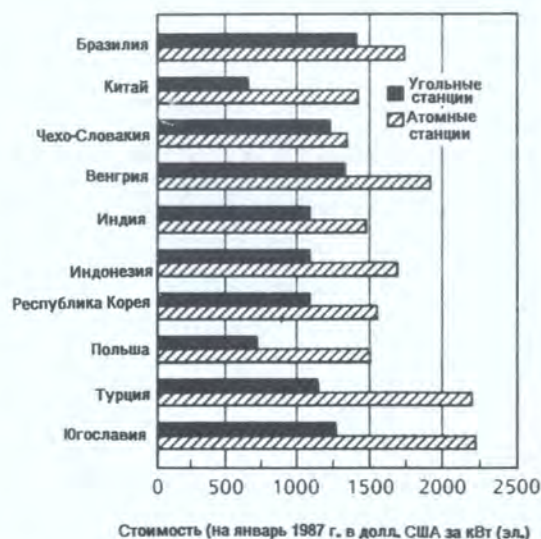
Исходные сметы предполагают реальную учетную ставку в 5 % годовых при 30-летнем сроке службы как угольных, так и атомных генерирующих установок, и при 72 %-ном коэффициенте нагрузки, уравненном на срок их службы, и общее предположение по издержкам на демонтаж для тех стран,

Планируемые капитальные затраты на угольные и атомные электростанции в странах ОЭСР



Примечание. Капитальные затраты включают в себя реальный процент во время строительства (5 % годовых).

Планируемые капитальные затраты на угольные и атомные электростанции в некоторых государствах-членах МАГАТЭ



Примечание. Капитальные затраты включают в себя реальный процент во время строительства (5 % годовых).

В этих графиках представлены капитальные затраты на атомные и угольные электростанции в странах ОЭСР и девяти государствах-членах МАГАТЭ. Планируемые строительные затраты составляют 1100–2000 долл. США на кВт (эл.) для атомных электростанций и 700–1500 долл. США на кВт (эл.) для угольных станций (январь 1987 г.).

которые не могут сами подготовить соответствующие оценки. Эти исходные предположения основываются на опыте и стремлениях электроэнергетических компаний.

Исходная учетная ставка вполне соответствует тем затратам, на которые большинство компаний рассчитывают при получении внешних фондов капиталовложений в реальном выражении. Коэффициент нагрузки и продолжительность работы станции определяются на основе ее эксплуатации в базовом режиме в промышленных странах, считающих их приемлемыми для обоих типов станций, планируемых к вводу в строй с середины 90-х годов. Но большинство развивающихся стран, применяющих более низкие средние коэффициенты нагрузки, должны будут принять соответствующие меры по повышению производительности своих станций, работающих в базовом режиме. Большая часть этих стран исходит в своих национальных расчетах из коэффициента нагрузки в 70 % или менее.

В большинстве промышленных и в некоторых развивающихся странах в разрабатываемые с использованием исходных предположений проекты атомных электростанций закладывается значительное экономическое преимущество перед станциями, работающими на угле, в производстве энергии при работе в базовом режиме в течение срока их службы. (См. прилагаемый график.)

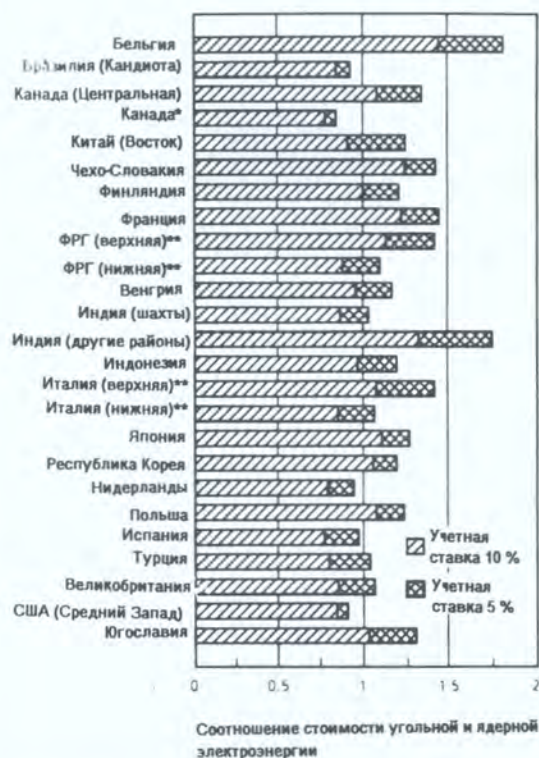
В частности предполагается, что ядерная электроэнергия будет значительно дешевле, чем электроэнергия, получаемая от использования угля, в Японии, большинстве европейских стран, в районах Северной Америки, Китая и Индии, удаленных от угольных месторождений, а также в Индонезии и Республике Корея. С другой стороны, предполагается, что электроэнергия на базе угля будет более дешевой в угольных районах Северной Америки, Бразилии, Китая и Индии, а также в Нидерландах и Испании, где электричество производится на импортируемом угле.

Чувствительные моменты

Выравненные затраты на производство электроэнергии и их соотношение для атомных и угольных электростанций зависят в значительной мере от применяемых входных параметров. Они очень чувствительны к учетной ставке, будущим ценам на ископаемое топливо и капитальным затратам на станцию.

Основные параметры, особенно учетная ставка, стали предметом тщательного рассмотрения. Хотя исходная учетная ставка в 5 % годовых вполне соответствует расходам за счет предполагаемого для энергетических предприятий внешнего финансирования, отвечающего ставке по долгосрочным правительственным ценным бумагам, она значительно ниже средней нормы прибыли на промышленные инвестиции в большинстве стран ОЭСР. Для оценки проектов, особенно в странах со скудными капитальными ресурсами, Всемирный банк часто рекомендует 10 %-ную реальную учетную ставку. В таких случаях расчеты велись с альтернативной учетной ставкой в 10 % годовых. Лишь для Бельгии, Франции, Японии, Чехо-Словакии и Индии (в местах,

Сравнительная конкурентоспособность угольной и ядерной электроэнергии при учетной ставке 5 и 10 %



* Сравнение западных угольных станций с восточными атомными станциями.

** Верхние и нижние пределы цен на уголь.

удаленных от угольных шахт) отмечалось четкое преимущество затрат на ядерную энергетику при этой учетной ставке.

Для исследования, проводившегося ОЭСР, независимый консультативный орган Международного энергетического агентства ОЭСР-Консультативный совет по угольной промышленности (CIAB) предложил альтернативные точки зрения на будущие цены на уголь. Его лучшие усредненные оценки применительно к затратам потребителей на внутренние перевозки оказались в целом ниже, чем оценки большинства стран.

При альтернативных предположениях с более высокими учетными ставками и более низкими ценами на уголь его использование становится привлекательнее. При 10 %-ной учетной ставке в сочетании с предположениями электроэнергетических компаний относительно цен на уголь в трех странах ОЭСР ядерная энергетика показала значительное преимущество в соответствующих затратах, в двух странах затраты на угольную и ядерную энергетику оказались почти сравнимыми, а в четырех странах существенное преимущество оказалось у угля. Расчеты цен на уголь (речь идет только об угле, импортируемом в Западную Европу и Японию), сделанные CIAB, еще более снижают

планируемые затраты на производство электроэнергии с помощью угля в большинстве стран ОЭСР. При 5 %-ной учетной ставке четыре страны ОЭСР отдадут предпочтение ядерной энергии, для четырех стран ядерная энергия и уголь равноценны, и в одной стране преимущество остается за углем. При 10 %-ной учетной ставке и предполагаемых CIAВ ценах на уголь для большинства стран более дешевым становится производство электроэнергии на угольных станциях.

Произведены также расчеты с выравненным коэффициентом нагрузки в 63 % для того, чтобы в некоторых странах был использован накопленный опыт эксплуатации станций с продолжительностью их работы в 25 лет (как атомных, так и угольных). Эти предположения повышают конкурентоспособность угля, хотя и в меньшей степени, чем с альтернативной учетной ставкой.

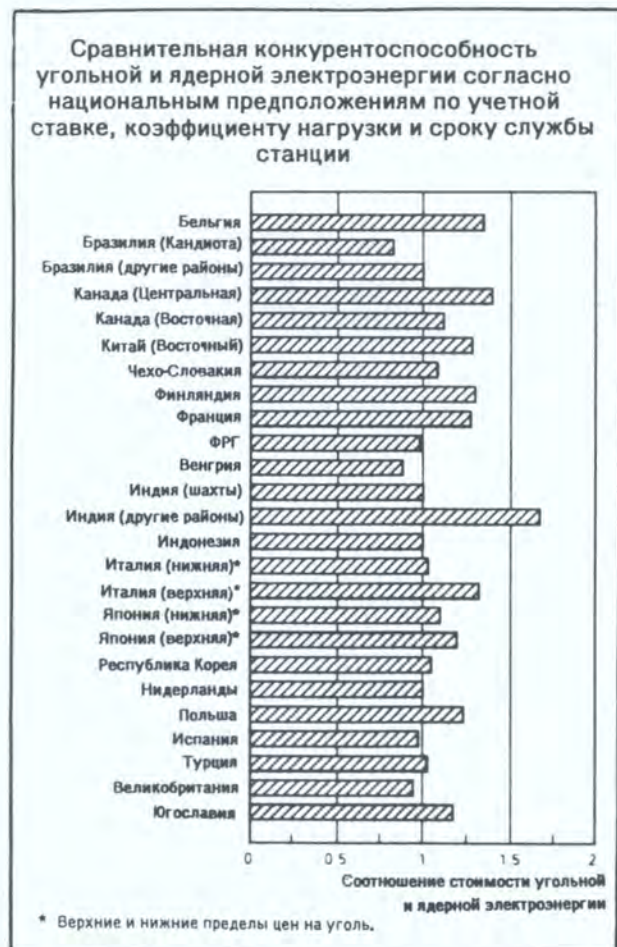
Результаты исследований

Используя свои предположения по учетной ставке, продолжительности работы станции и коэффициенту нагрузки, семь стран ОЭСР, два восточно-европейских государства, а также Югославия и Индия (в районах, удаленных от угольных шахт) отдадут значительное предпочтение ядерной энергетике. (См. график на стр. 24.) В других странах она

оценивается в пределах от того же уровня, на котором находится угольная энергетика, и до 10 %-ного ее удорожания, а в районах с низкой стоимостью угля угольная энергетика оказывается предпочтительнее.

Общие исходные предположения, сформулированные в международных исследованиях, дают в основном аналогичные результаты для стран ОЭСР, но повышают конкурентоспособность ядерной энергетики в восточно-европейских и других странах, не входящих в ОЭСР.

Короче, большинство стран рассчитывало на то, что ядерная энергетика потребует меньших затрат на производство электричества, чем теплоэнергетика на основе угля или в худшем случае затраты окажутся сопоставимы. Но в свете всех рассматриваемых в исследованиях предположений сравнения затрат на угольную и ядерную энергетiku не проясняют картину. По одним предполагаемым значениям параметров ядерная энергетика имеет существенное преимущество перед угольной, по другим же таким параметрам получается наоборот.



В отличие от предыдущих исследований заниженные оценки будущих цен на уголь сократили в ряде стран предполагаемые затраты на угольную энергетику по сравнению с ядерной. Предполагаемые же затраты на ядерную энергетику, по-видимому, остаются относительно стабильными или даже несколько сокращаются, по данным тех же исследований.*

* "International Comparison of Generation Costs" ("Международное сравнение производственных затрат"), П.М. С. Джонс, Дж. Х. Стивенс и К. Вигли, труды *Good Performance in Nuclear Projects* ("Достижения в ядерных проектах"), АЯЭ/ОЭСР (ноябрь 1989 г.).

Великобритания и ее отношение

Общее мнение, что при значениях параметров, считающихся наиболее подходящими для оценки затрат, ядерная энергетика останется конкурентоспособной или, по крайней мере, сравнимой с угольной, не совпадает с появившимися в английской прессе утверждениями. Средства массовой информации Великобритании утверждают, что затраты на ядерную энергетику в три раза превышают в этой стране затраты на угольные станции. Однако выяснилось, что основные затраты на производство электроэнергии реакторами с водой под давлением (PWR) в Великобритании в будущем меняются лишь маргинально.* В основном же они согласуются с теми, что приведены на стр. 25.

* "The Future for Nuclear Power" ("Будущее ядерной энергетики"), В. Маршалл, ежегодная лекция в Британском обществе по ядерной энергии (ноябрь 1989 г.).

электроэнергию в Великобритании (пенсов за киловатт-час)

Собственность станций	Государственная	Государственная	Частная
Дата оценки затрат	Апрель 1987 г.	Апрель 1989 г.	Середина 1990 г.
<i>Экономические параметры</i>			
Реальная учетная ставка	5 %	8 %	10 % ^а
Амортизационный период	40 лет	40 лет	20 лет
Нивелированный коэффициент нагрузки	75 %	75 %	70 %
Исходная дата затрат	март 1987 г.	март 1987 г.	март 1989 г.
<i>Дифференциальные затраты на производство</i>			
Капитал	1,35	2,17	
Включение в энергосистему	0,07	0,10	
Топливо	0,45	0,43	
Другие операции	0,34	0,36	
Демонтаж	0,03	0,03	
Всего	2,24	3,09	
<i>Дополнительные цены для частного сектора</i>			
Изменение валютной базисной даты ^а			0,33
Дополнительные расходы на строительство ^б			0,10
Накладные расходы ^в			0,79
Изменение в базисе процента и амортизации ^г			1,40
Влияние уменьшения коэффициента нагрузки ^д			0,35
Изменения в поставках топлива ^д			0,19
Итого по дополнительным ценам			3,16
Общая стоимость производства электроэнергии для частной станции			6,25

а — Применительно к неамортизируемой капитальной базе.

б — Доля перерасходов в связи с „новой конструкцией“ Сайзвэлловского реактора с водой под давлением.

в — Основные накладные расходы, страхование и обычные местные налоги на производство электроэнергии.

г — Переход на более короткую амортизацию и на 10 %-ный доход от первоначального капитала (эквивалентный 14 %-ной внутренней норме прибыли).

д — Дополнительные меры на случай непредвиденных обстоятельств согласно пессимистическим предположениям для сведения к минимуму финансового риска для энергетической компании.

Индикативная договорная цена вновь приватизированного энергетического предприятия для производства электроэнергии с новым PWR включила накладные расходы, различные пути расчета дохода и прибыли на эквивалент инвестированного капитала на основе 14 % годовых и реальную норму прибыли за 20-летний амортизационный период. Кроме того, она содержала заведомо консервативные предположения по производительности и непредвиденным обстоятельствам. Энергетическое предприятие сочло это оправданным для ситуации, когда в отличие от других стран имеется свободная конкуренция в энергоснабжении без долгосрочного контрактного обязательства по обеспечению сбыта электроэнергии частным распределительным компаниям и при высокой ставке процента, преобладающей в настоящее время в Великобритании.

С помощью этих различных предположений были рассчитаны дополнительные издержки в государственном секторе и цены частного сектора. (См. прилагаемые таблицу и график.) Примечательно, что цены частного сектора вдвое выше тех, что ранее рассчитывались для государственного сектора. Одной из причин этого является переход с 8 %-ной реальной учетной ставки и 40-летней выплаты ренты на 10 %-ную реальную учетную ставку и 20-летние амортизационные отчисления, применяемые на неамортизационной капитальной основе. Предположительные оценки в рамках государственного сектора определили норму начисления процентов, выплачиваемых на капитал, и суммы погашения долга в 8,4 %, тогда как частный сектор принес доход на инвестированный капитал в среднем в 14 %. Таким образом, основная часть увеличения обязана предположениям по соответствующим экономическим параметрам (норма процента и денежные единицы), а также методу учета (амортизационная основа, накладные расходы и принятие в расчет непредвиденных обстоятельств); и в очень малой мере какому-то возможному реальному увеличению затрат на строительство или ассигнований на обращение с отработав-

шим топливом и радиоактивными отходами. Эти цены частного сектора были ошибочно сравнены средствами массовой информации с затратами на производство электричества (исключая накладные расходы и т.п.) на новых угольных станциях и с соответствующими ценами на электроэнергию на существующих, частично списываемых угольных станциях частного сектора. Рассчитанная на той же безрисковой основе стоимость электричества на новых угольных станциях может быть на 20 % дешевле стоимости электричества на атомных станциях.

Рассматривавшиеся в Великобритании экстремальные условия конкуренции не существуют в других странах (да и в самой Великобритании ситуация изменилась при сохранении атомных электростанций в государственном секторе), и поэтому условия и предположения, сформулированные в тех рамках, в которых они рассматриваются в международных исследованиях, могут в общем считаться приемлемыми.

Выбор топлива

Те методологии и предположения, которые предлагаются международными обзорами по затратам для сравнительной оценки ядерной энергетики и ее альтернатив с целью производства электроэнергии на базовой основе, вовсе не являются обязательными для всех.

Каждое правительство и каждая энергетическая компания стремятся учитывать свои потребности и соответствующую политику, свои национальные ресурсы, инфраструктуру, наличие рабочей силы, имеющийся технический опыт и влияние энергоснабжения на национальную экономику и окружающую среду. Это стремление чаще всего выражается в сбалансированном сочетании генерирующих установок, отражающем как финансовые затраты, так и перечисленные крупные проблемы.