

объекта инвестирования. Система возмещения внеплощадочного ущерба при максимальной запроектной аварии на АЭС имеет сложную структуру, регламентируемую законодательством конкретного государства. Одним из элементов этой структуры является ядерное страхование внеплощадочного ущерба. Исходя из межгосударственной практики, в настоящей работе предложен один из возможных вариантов методики расчета брутто-ставки страхования внеплощадочного ущерба при максимальной запроектной аварии на реакторах АЭС-92. Методика позволяет согласовать интересы как страховщика, связанные с достижением рентабельности страхования и минимизации риска разорения страховой компании, так и страхователя, направленные на минимизацию издержек страхования при сохранении возможностей покрытия затрат на компенсационные выплаты в страховом случае. Предложена для использования двухступенчатая система страхования внеплощадочного ущерба, включающая страхование некатастрофического риска страховыми компаниями страны и перестрахование части рисков ядерным страховым пулом. Брутто-ставка страхования некатастрофического внеплощадочного ущерба при максимальной запроектной аварии на АЭС-92 определена в размере 50 тыс. дол./ (реактор · год). Брутто-ставка перестрахования риска максимальной запроектной аварии на АЭС-92 при катастрофическом развитии событий — 0,5 млн дол./ (реактор · год). Источником формирования страхового фонда, предназначенного для компенсации внеплощадочного ущерба при максимальной запроектной аварии на АЭС-92, может быть прибыль предприятия. Размер отчислений — 3% балансовой прибыли. Другим возможным способом формирования страхового фонда является включение издержек страхования в цену производимой электроэнергии. Увеличение цены электроэнергии составит при этом менее 1%.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Страхование дело. Под ред. Л.И. Рейтмана. М.: РоСТО, 1992. 524 с.
2. Александрова Т.Г., Меццержакова О.В. Коммерческое страхование. М.: ЭКОН, 1996. 254 с.
3. Иванов Е.А., Хамьянов Л.П. Допустимая вероятность и масштаб тяжелой аварии на АЭС. — Атомная энергия, 1998, т. 84, вып. 2, с. 107—113.

Поступила в Редакцию 1.11.2000

УДК 338.45

#### РАСЧЕТ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ АЭС

*Казачковский О.Д. (ГНЦ РФ — ФЭИ им. А.И. Лейпунского)*

Выбор технологических вариантов АЭС для внедрения в производство, как и любых промышленных объектов, основывается на сопоставлении соответствующих экономических параметров. В настоящее время для этих целей используется, как правило, формула расчетных (приведенных) затрат. Она рекомендуется, например, в методиках [1, 2] и выглядит следующим образом:

$$Z = T + \lambda K, \quad (1)$$

где  $Z$  — общие удельные затраты;  $T$  — соответствующие текущие затраты;  $\lambda$  — нормативный коэффициент отчислений от капиталовложений в единицу времени — один год;  $K$  — удельные капиталовложения на единицу мощности производства.

Принимается, что эти расчетные затраты отвечают удельным затратам на выпуск единицы продукции (или, что то же самое, цене продукта). И оптимальным вариантом, таким образом, считается тот, для которого расчетные затраты наименьшие. В принципе все правильно. Однако остается открытым вопрос о правомочности самой формулы. Она ниоткуда не следует. И если еще вклад текущих затрат здесь не вызывает

особых сомнений, то правильность учета в ней капиталовложений далеко не очевидна. Дело в том, что основная величина, определяющая экономическую эффективность капиталовложений — коэффициент  $\lambda$ , задается чисто директивным образом, без сколько-нибудь строгого обоснования. С этим еще можно как-то примириться, если эффект капиталовложений относительно невелик. Результирующая погрешность, если она есть, будет сравнительно небольшой. Но когда капиталовложения составляют основную долю затрат, как это имсет место, в частности, в ядерной энергетике, такое положение нельзя считать допустимым. Есть и другие принципиальные вопросы экономического плана, которые также требуют своего обоснования.

В создавшейся ситуации автор, много лет занимавшийся быстрыми реакторами в комплексе, не считал возможным ограничиться исследованием лишь экономических задач ядерной энергетике. Пришлось обратиться к рассмотрению экономической теории в самом общем виде. После нескольких попыток на основе несложной рабочей модели удалось построить некую более или менее последовательную систему, если позволительно так сказать, «рациональную» теорию стоимости. Это дало возможность получить ответы на некоторые принципиальные вопросы, по которым пока еще не сложились однозначные мнения. Результаты исследований изложены в недавно вышедшей монографии [3]. В настоящей статье в конспективной форме приводятся важные с позиции ядерной энергетике итоги этой работы.

**Общие принципы рациональной теории стоимости.** Как следует из общих соображений, оптимальный технологический вариант производства должен определяться наименьшими затратами на выпуск необходимой продукции. Но что собой представляют эти затраты? Следует считать, что они однозначно и исключительно определяются трудозатратами. Часть из них связана с использованием рабочей силы на предприятии, выпускающем данный продукт, другая и, может быть, значительно большая определяется затратами труда на смежных предприятиях. Мерой затрат труда может служить стоимость произведенной продукции. И она, эта стоимость, является удобным критерием оптимальности производства. Наименьшей стоимости соответствует наиболее выгодный технологический вариант. В оптимизационных расчетах, как правило, проще пользоваться удельными затратами, т.е. отнесенными к единице продукции (выраженной в штуках, килограммах, метрах и др.), а не полными. И соответственно не полной стоимостью, а ценой, которую определим как стоимость единицы продукции, однозначно определяющаяся затратами производства и независимая от конъюнктуры рынка.

В процессе производства вырабатываемая стоимость, проходя по цепочке смежных предприятий, сохраняется, что дает основание говорить о законе сохранения стоимости. Такой фундаментальный закон должен действовать в рамках всего народного хозяйства. Его можно сформулировать следующим образом: стоимость создается в процессе производства и только в нем и исчезает при потреблении продуктов (населением) и только при этом. Закон сохранения стоимости полезен или, можно сказать, даже необходим в наших исследованиях. На нем зиждется вся система рационального объективного подхода к стоимости. Известно, что в физике основные построения базируются на законах сохранения тех или иных физических величин. Так и здесь: закон сохранения позволяет исходить из плодотворного тезиса о наличии строгого баланса между трудозатратами и создаваемой ими стоимостью.

Стоимость можно измерять в денежных единицах, ибо, в принципе, она определяется денежным вознаграждением, которое получают работники за свой труд. Но любой денежный эталон непостоянен. Для проведения экономического анализа требуется четко определенный устойчивый масштаб стоимости. Целесообразной является «внутренняя» привязка стоимости с использованием в качестве эталона самих же трудозатрат. Может показаться, что это ничего не дающая тавтология: трудозатраты выражаются в стоимости продукции, последняя, в свою очередь, определяется трудозатратами. Но дело в том, что абсолютное значение выраженной в денежных единицах

стоимости несущественно. Они, эти единицы, могут быть какими угодно. Важно иметь четко установленную зависимость денежного выражения стоимости от времени. И привязка стоимости к трудозатратам дает достаточную для этого определенность.

С количественной стороны труд может характеризоваться двояким образом: либо по затраченным усилиям, либо по конкретным результатам трудовой деятельности. В условиях расширенного воспроизводства (имеется в виду расширенное воспроизводство второго рода) обе эти меры со временем постепенно расходятся между собой. Можно считать, что прилагаемые работниками усилия (физические, умственные) в среднем сохраняются постоянными. Для простоты будем полагать также, что численность персонала, занятого выработкой интересующего продукта, не изменяется. И, следовательно, количество затрачиваемых в единицу времени, скажем так, трудодней в рамках данной отрасли остается одним и тем же. В то же время ценность трудозатрат, их результативность благодаря научно-техническому прогрессу и повышению производительности труда непрерывно увеличивается. В результате выпуск продукции (теми же силами) растет. Привязка к той или другой мере трудозатрат дает соответственно два различных фундаментальных масштаба измерения стоимости.

Фактически нас будет интересовать и мы будем иметь в виду здесь второй масштаб, т.е. привязку к эффективности труда. При этом следует полагать, что работники вознаграждаются за свой труд в соответствии с результатами их деятельности. Повышение эффективности труда характеризуется ростом, будем говорить, эффективного натурального объема выпускаемой продукции. Заработная плата соответственно растет пропорционально этому объему или мощности производства. Суммарная же стоимость всей продукции, определяемая фондом заработной платы, увеличивается в той же пропорции. Таким образом, цена продуктов в этом масштабе сохраняется постоянной, что, в общем случае, близко к реальности и существенно упрощает проведение исследований.

Модель квазинезависимой отрасли. Итак, перед нами стоит задача выбора наиболее выгодного технологического варианта производства данного продукта. В точной постановке задачу следовало бы решать применительно ко всему народному хозяйству. Но практически это делать, во всяком случае пока, невозможно. Поэтому ограничимся рассмотрением только одной, скажем так, квазинезависимой отрасли, которая выпускает лишь один интересующий нас продукт. И, добавим, все предприятия, вырабатывающие данный продукт, будут считаться сосредоточенными только в этой отрасли. Все народное хозяйство являет собой, таким образом, замкнутую систему, состоящую из отдельных квазинезависимых отраслей различного профиля. В хозяйственном отношении каждая отрасль автономна и взаимодействует со смежниками, приобретая необходимую для себя продукцию и, в свою очередь, реализуя свой товар на сторону. Другими словами, взаимодействие со смежниками ограничивается простым хозрасчетом. Все расходы отрасли, включая и те, что идут на ее развитие, покрываются доходами от реализации продукции. Баланс расходов и доходов поддерживается постоянно. Излишнего накопления финансовых средств или получения дотаций извне нет. Этим по существу и определяется стоимость выпускаемой продукции.

Сравнение технологических вариантов производства нужно проводить во времени, с учетом, в общем случае, меняющихся потребностей в данном продукте. Будем полагать, что рост выпуска продукции или увеличение мощности отрасли  $W$  экспоненциально зависит от времени  $t$ , что и отвечает росту потребности в данном продукте:

$$W \approx \exp \lambda t. \quad (1)$$

Коэффициент  $\lambda$  выражает собой темп развития мощности, равный относительному приросту выпуска продукции в ту же единицу времени — один год. Заметим, что неспроста, как будет видно из дальнейшего, использовали здесь тот же самый уже ранее введенный символ  $\lambda$ . Будем считать, что этот коэффициент не зависит от того, какой вариант выбран. В такой постановке по существу пренебрегается обратной

связью. Это, можно сказать, является первым приближением теории. На самом же деле количество требующейся продукции данной отрасли может зависеть от затрат на ее выпуск, т.е. от ее стоимости (различной для разных вариантов).

Сформулируем теперь в окончательном виде оптимизационную задачу. Задана (экспоненциальная) кривая потребного выпуска продукта данной квазинезависимой отраслью. Имеется несколько в равной степени разработанных технологических вариантов производства этого продукта. Необходимо выбрать из них один оптимальный. Оптимальность варианта, как и его технических параметров, определяется наименьшими затратами, т.е. наименьшей ценой продукта. И здесь возникает кардинальный вопрос: как правильно должна определяться цена?

Затраты производства в принципе всегда дискретны. Перед началом выпуска продукции производятся, как правило, большие разовые затраты. Возводятся производственные помещения с необходимой инфраструктурой, периодически закупается оборудование с различным нормативным сроком службы. Даже сырье, комплектующие изделия и запасные части поступают на предприятия отрасли отдельными партиями с тем или иным периодом возобновления. Каким же образом эти дискретные затраты должны переноситься на стоимость непрерывно выпускаемой продукции? Вероятно, заранее можно сказать, что если срок службы оборудования или других материальных средств мал, то соответствующие разовые затраты носят характер текущих. Они должны равномерно распределяться по всей выпущенной за этот срок продукции. А если он, этот срок, велик, что тогда? Если первоначальные затраты на сооружение, например, гидроэлектростанции распределять по принципу текущих затрат, т.е. равномерно в течение всего срока ее существования, то стоимость произведенной электроэнергии будет неоправданно низка. И, вообще, что это значит: срок службы мал или велик? По сравнению с чем именно? Ответы на эти вопросы и постараемся получить.

С точки зрения расчета цены продукта несущественно, по какой статье проходят те или иные затраты или каково их происхождение. Все они имеют один и тот же характер. Это, в конечном счете, суть трудозатраты. Не важно, для каких именно конкретных целей они предназначены. Рано или поздно они должны перейти на стоимость продукции. Поэтому рассматриваемую квазинезависимую отрасль можно уподобить обычному «черному ящику». На вход поступают различные, фактически всегда дискретные затраты разной скважности, т.е. с тем или иным периодом возобновления  $\tau_i$ , на выходе снимается стоимость равномерно выдаваемой продукции. Нет необходимости знать, что творится внутри самого черного ящика. Не важен истинный срок службы тех или иных элементов оборудования, на которые производятся затраты. Важны лишь затраты и их распределение во времени. Единственное требование — выходная стоимость продукции в принятом масштабе должна сохраняться неизменной (независимо от того, как группируются затраты) в течение всего рассматриваемого периода.

Полная цена продукта  $Z$  может быть разбита на отдельные составляющие  $Z_i$ , отвечающие вкладу тех или иных, в общем случае регулярно повторяющихся конкретных затрат. Само собой разумеется, что должен иметь место принцип детального соответствия всех статей затрат и компонентов цены. Это значит, что каждая статья затрат покрывается доходом при реализации продукта именно за счет «своего собственного» компонента цены. Таким образом,

$$Z = \sum_i Z_i. \quad (2)$$

Применив принцип детального баланса расходов и доходов (в элементарном промежутке времени) к отдельному компоненту цены, в конечном счете приходим к следующему выражению:

$$Z_i = \frac{\lambda k_i}{1 - \exp(-\lambda \tau_i)}. \quad (3)$$

Величина  $k_i$  обозначает здесь удельные, т.е. отнесенные к единице мощности затраты на приобретение  $i$ -го элемента оборудования или вообще любые (дискретные) затраты с периодом возобновления  $\tau_i$ . Это и есть основная формула, определяющая переход дискретных затрат  $k_i$  на стоимость непрерывно выпускаемой продукции.

Характер зависимости существенно меняется с ростом  $\tau_i$ . Определяющим здесь служит  $\tau_0 = 1/\lambda$  — время увеличения мощности в  $e$  раз, которое называется характеристическим временем (экономического развития). Если  $\tau_i \ll \tau_0$ , то, разлагая экспоненту в знаменателе в ряд и ограничиваясь двумя членами, получаем

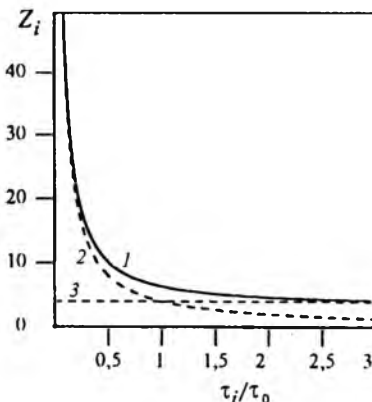
$$Z_i \cong k_i/\tau_i. \quad (4)$$

Первоначальные разовые затраты равномерно переносятся на стоимость выпускаемой продукции в течение всего срока службы соответствующего элемента. Они, таким образом, могут быть отнесены к категории текущих затрат.

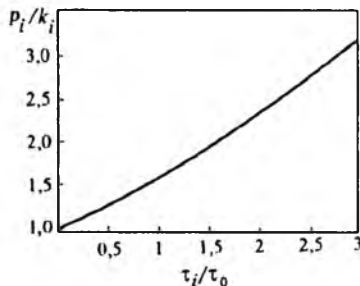
Если же срок службы велик так, что  $\tau_i \gg \tau_0$ , то, пренебрегая в знаменателе (3) экспоненциальным членом, приходим к выражению

$$Z_i \cong \lambda k_i. \quad (5)$$

Величина  $Z_i$  становится независимой от  $\tau_i$ . При больших  $\tau_i$  затраты носят типично капитальный характер. График функции  $Z_i(\tau_i)$ , а также ее асимптотических приближений с обеих сторон приведен на рис. 1. Обе приближенные зависимости, т.е. выражаемые формулой текущих (4) и капитальных затрат (5), пересекаются в точке  $\tau_i = \tau_0$ . Полный доход  $p_i$  за счет данного компонента цены, полученный при реализации продукта, равняется  $Z_i \tau_i$  (имеется в виду единичная мощность предприятия). Баланс расходов и доходов имеет место только при малых  $\tau_i$ , т.е. когда сами затраты носят характер текущих. При больших же  $\tau_i$ , как нетрудно видеть, баланс не соблюдается, доходы превышают расходы (рис. 2). Если  $\tau_i = \tau_0$ , то это превышение составляет почти 50%. Когда же  $\tau_i \gg \tau_0$ , общий доход или, что то же самое, общая выработанная стоимость может во много раз превышать первоначальные затраты. Получается, что при этом вырабатывается дополнительная стоимость. В чем дело? Откуда берется эта дополнительная стоимость? Может быть, закон сохранения стоимости не справедлив? Неужели капитал (капиталовложения), как иногда утверждается, может создавать стоимость сам по себе? Отнюдь, нет! Все дело — в задержке стоимости изделий, находящихся в процессе производства, с ее переходом на выпускаемую продукцию. За время же этой задержки экономическая ситуация, в общем случае, меняется. В условиях расширенного воспроизводства общая



Р и с. 1. Зависимость компонента цены продукта  $Z_i(\tau_i)$  (1),  $Z_0(\tau_i)$  (2),  $Z_\infty$  (3), обусловленная  $i$ -м элементом оборудования, от срока его службы  $\tau_i$  при заданных первоначальных разовых затратах



Р и с. 2. Отношение полного дохода  $p_i$  к первоначальным разовым затратам  $k_i$  в зависимости от относительного срока службы оборудования  $\tau_i/\tau_0$

создаваемая (в единицу времени) стоимость неуклонно увеличивается. Растет и фонд заработной платы. Увеличивается соответственно и общий объем циркулирующей денежной массы. Рассматриваемая отрасль (как и другие, ей подобные) становится, если можно так выразиться, все богаче. Относительная же ценность денежных единиц, в которых измеряется эта стоимость, таким образом, падает. В этом и кроется причина появления такой кажущейся дополнительной стоимости. Просто со временем та же стоимость выражается в относительно более мелких денежных единицах. В принципе же здесь нет ничего нового. И в существующей методике суммарные отчисления от капиталовложений могут значительно превышать первоначальные затраты. Подчеркнем, что все это относится к принятому нами масштабу измерения стоимости, в котором цена продуктов сохраняется постоянной. В другом фундаментальном масштабе, когда стоимость привязывается к затраченным усилиям, а не к эффективности труда, такого эффекта нет. Полный доход в этом масштабе всегда соответствует первоначальным затратам. Но там есть другая сложность — непостоянство цен, что не очень удобно для проведения экономических исследований.

Полная цена продукта в соответствии с уравнением (2) определяется суммированием всех  $Z_i$ . В расчетном плане можно пойти по пути некоторого упрощения получаемой формулы. Пользуясь тем же критерием сравнения с  $\tau_0$ , условно разделим все компоненты затрат на две группы: с малым и большим  $\tau_i$ . При малых  $\tau_i$  справедливо соотношение (4). Все эти затраты независимо от происхождения или назначения носят характер текущих затрат.

При больших  $\tau_i$  имеет место соотношение (5). Эти затраты являются по существу истинно капитальными. Их вклад в цену продукции не зависит от  $\tau_i$  и всецело определяется  $\lambda$ .

Таким образом, можно записать

$$Z \equiv \sum_i \frac{k_i}{\tau_i} + \lambda \sum_l k_l \quad (6)$$

Итак, первый член справа учитывает здесь все затраты, которые с тем или иным приближением можно отнести к категории текущих, независимо от их назначения или происхождения. Второй член отвечает капитальным затратам опять-таки с некоторым приближением. Принадлежность к той или иной категории затрат определяется относительной величиной  $\tau_i$ . Равенство  $\tau_i = \tau_0$  устанавливает границу между зонами применения того или другого приближения (см. рис. 1).

Различие между текущими и капитальными затратами с расчетной точки зрения условно. Между ними нет четкого разграничения. По существу отмечается плавный переход из одной категории затрат в другую по мере изменения  $\tau_i$ . Формула (6), однако, этого не учитывает и не дает хорошей точности особенно в промежуточной области вблизи границы раздела между зонами применения обоих приближений. Наибольшая погрешность, т.е. отклонение от уравнений (2), (3) — на границе между обеими зонами при  $\tau_i = \tau_0$ . Здесь эта погрешность (в сторону занижения стоимости) составляет 37%.

Выражение (6) качественно соответствует формуле расчетных затрат (1). Это может служить подтверждением правомочности последней. Она действительно отражает влияние эффекта трудозатрат на стоимость продукции. Но тут следует сделать некоторые замечания. Во-первых, формула (6) сама по себе является приближенной. Во-вторых, и это самое главное, в формуле расчетных затрат используется директивное неправдоподобно большое значение параметра отчислений от капиталовложений  $\lambda$ . Его величина, как правило, составляет 0,15 [2]. В полученном выражении (6) значение  $\lambda$  отвечает темпу развития отрасли и, следовательно, в несколько раз ниже директивного. Это значит, что формула расчетных затрат, если ее использовать такой, как она

есть, приводит к завышению расчетной стоимости производства соответствующих продуктов и, следовательно, к существенному ухудшению расчетной экономической эффективности капиталоемких промышленных объектов по сравнению с истинной. Тем самым по существу необоснованно ставятся в невыгодное положение наиболее перспективные технологические варианты производства. Формула расчетных затрат, следовательно, нуждается в соответствующей корректировке.

Обратим внимание также и на то, что в формуле расчетных затрат используется единый для всех отраслей параметр отчислений от капиталовложений. Согласно же модели квазинезависимой отрасли получается, что значение этого параметра для каждой отрасли должно быть своим. Впрочем, стоит заметить, что здесь, по-видимому, сказывается уже ограничение принятой нами модели. Более полный учет межотраслевого взаимодействия в общей структуре народного хозяйства приводит все же к единому значению  $\lambda$ , отвечающему некоторому среднеэффективному темпу развития народного хозяйства. Но это уже мало что меняет в количественном плане.

В технологическом процессе кроме основного продукта, на выпуск которого он прежде всего и рассчитан, могут образовываться и некоторые другие побочные продукты или материалы. Если они находят потребление, то можно говорить о соответствующем многоцелевом предприятии. Принципиально важным является вопрос о правильном распределении затрат и соответственно стоимости между различными видами одновременно выпускаемой продукции. Для простоты будем считать, что вырабатывается лишь один побочный продукт, т.е. что речь идет о двухцелевых предприятиях. Мощность двухцелевого предприятия устанавливается, исходя из необходимости удовлетворить потребности в основном продукте. Выпуск же побочного продукта составляет, как правило, лишь некоторую долю его общей потребности. Поэтому должны одновременно работать еще и соответствующие одноцелевые предприятия, выпускающие только этот один вид продукта.

Принцип разделения вырабатываемой стоимости при работе двухцелевого предприятия состоит в том, что задается ценность побочного продукта. Как правило, она определяется на основании цены того же продукта на соответствующем специализированном одноцелевом предприятии. Цена же основного продукта двухцелевого предприятия рассчитывается, исходя из всех затрат производства за вычетом дохода, получаемого от реализации побочного продукта.

Принципиальные вопросы экономики ядерной энергетики. С экономической точки зрения ядерная энергетика специфична. Ей свойственны, по крайней мере, две кардинальные особенности. Первая связана с большой ролью капиталовложений, которые вносят ощутимый, если не сказать превалирующий, вклад в стоимость электроэнергии. Это делает необходимым особо тщательно и обоснованно учитывать роль капиталовложений. Вторая определяется спецификой использования ядерного топлива, которая существенно отличается от той, что присуща обычному химическому топливу. К сожалению, до последнего времени не сложилось единого мнения о том, как следует учитывать эти особенности в экономических расчетах. Полученные же в рамках модели квазинезависимой отрасли результаты (с поправками на межотраслевое взаимодействие) дают возможность сделать определенные и однозначные выводы по некоторым спорным вопросам. Нет необходимости приводить здесь конкретные технико-экономические данные об имеющихся и проектируемых атомных электростанциях различного типа. Их можно найти в соответствующих многочисленных публикациях, тем более что конкретные экономические параметры того или иного типа АЭС из разных источников могут заметно расходиться между собой. Не наша задача устанавливать здесь объективную истину. Мы постараемся изложить лишь принципиальные соображения, касающиеся расчета экономических параметров систем ядерной энергетики и выдать некоторые имеющие практический смысл рекомендации.

Экономические проблемы ядерной энергетики обстоятельно изложены в монографии [4]. Поэтому нет необходимости излагать всю проблему в целом. Мы обратим

внимание здесь только на те экономические аспекты, которые нуждаются в дополнительном рассмотрении и обсуждении. В первую очередь это относится к эффективности капиталовложений.

Удельные капиталовложения в АЭС, без сомнения, значительно выше, чем в обычные электростанции [5]. Это связано с некоторыми обстоятельствами. Технологическая схема АЭС сложна. Используется двухконтурная и даже трехконтурная система отвода тепла из реактора. Да еще создается специальная система гарантированного аварийного расхолаживания. Высокие требования предъявляются к конструкционным материалам (ядерная чистота). Изготовление оборудования и его монтаж ведутся в особо строгих, тщательно контролируемых условиях (реакторная технология). К тому же термический к.п.д. на используемых ныне АЭС с тепловыми реакторами заметно ниже, чем на обычных тепловых станциях.

Высокие удельные капиталовложения приводят к настоятельной необходимости учитывать полученные результаты и, самое главное, принять научно обоснованный параметр отчислений от капиталовложений вместо ныне используемого директивного его значения. В результате должны существенно улучшиться расчетные экономические показатели объектов ядерной энергетики. В особенности это относится к АЭС с быстрыми реакторами, для которых капиталовложения наиболее велики. Соответственно значительно возрастет проектная конкурентоспособность ядерной энергетики по сравнению с обычной.

Есть еще один примыкающий к этому частный, но имеющий важное значение вопрос. Он связан с тем, что в твэлах внутри реактора постоянно содержится значительное количество ядерного топлива, необходимого для создания критической массы. В некоторых публикациях (например, [5]) исходят из того, что поскольку ядерное топливо, составляющее критическую массу, постоянно находится в реакторе, то его стоимость, так называемую стоимость первой загрузки следует учитывать в качестве капиталовложений. Ибо, дескать, стоимость этого «замороженного» в критической массе топлива являет собой омертвленный капитал. Можно добавить, что если из этого исходить и быть последовательным, то надо учитывать не только топливо, находящееся в самом реакторе, но и то, что занято во внешнем топливном цикле. Для реакторов, использующих замкнутый цикл с регенерацией топлива, и прежде всего для быстрых реакторов общее количество «замороженного» таким образом топлива может в 2—3 раза, а то и больше превышать критическую массу. Все это должно чрезвычайно отягощать и без того большую капитальную составляющую и соответственно ухудшать расчетные экономические показатели АЭС.

С этим согласиться нельзя. Ведь в любом производстве непрерывно всегда находятся в эксплуатации те или иные элементы оборудования, другие материальные средства временного использования. Все они по истечении срока службы регулярно заменяются новыми. Однако никто (если этот срок не слишком велик) не причисляет их стоимость к капиталовложениям. Эти затраты учитываются в качестве обычных, текущих. Точно так же обстоит дело и с затратами на твэлы с ядерным топливом. Принципиальной разницы здесь нет. Отслужившие срок твэлы извлекают из реактора и заменяют новыми. Напомним, что производственную систему с позиции баланса стоимости можно рассматривать как своего рода черный ящик. На вход в соответствующей временной шкале подаются все без исключения (дискретные) затраты. Причем без какой-либо привязки к конкретному предназначению. На выходе снимается стоимость непрерывно выпускаемой продукции. Действие неповторяющихся разовых затрат распространяется на весь срок эксплуатации промышленного объекта. Такие затраты и относятся к категории капитальных. Эффект же периодических, регулярных затрат действует каждый раз только в пределах одного периода повторения. Срок службы твэлов в реакторе по сравнению с характеристическим временем  $\tau_0$  безусловно мал. Надо к тому же иметь в виду, что в реакторах почти всегда используется режим

частичной перегрузки твэлов. При этом время между двумя последовательными перегрузками, так называемое время микрокампании, т.е. по существу период повторения оказывается небольшим — несколько месяцев. Оно намного меньше характеристического времени, и, следовательно, затраты на ядерное топливо безусловно должны учитываться в качестве текущих затрат. Они определяются просто исходя из расхода топлива на выгорание. Ни о каком вкладе стоимости ядерного топлива в капитальную составляющую не может быть и речи. Нельзя же одни и те же затраты учитывать дважды: и в качестве текущих, и в качестве капитальных!

Следующий важный вопрос — о цене ядерного топлива. Все просто, если речь идет об уране. Стоимость урана однозначно определяется затратами на его добычу и извлечение из руды. Реальная цена урана, естественно, зависит от условий его добычи из различных месторождений и последующего процесса выделения из руды. В стоимость уранового топлива входят и затраты на изотопное обогащение, если таковое требуется.

Более сложно обстоит дело с определением цены плутония. Будем исходить из того, что в широком масштабе плутоний в качестве ядерного топлива целесообразно использовать, в основном, в топливном цикле быстрых реакторов. В общем случае следует различать здесь два режима: замкнутый, когда плутония достаточно для обеспечения потребностей развивающейся энергетики (на быстрых реакторах), и конверсионный, когда его не хватает и наряду с ним используется  $^{235}\text{U}$ . Для случая конверсионного цикла цена плутония должна определяться из сопоставления с известной ценой  $^{235}\text{U}$ . В любом быстром реакторе с одинаковым успехом без каких-либо переделок может использоваться как плутониевое, так и урановое топливо. Поэтому при экономическом сопоставлении влияние эффекта вида топлива на капитальную составляющую стоимости электроэнергии можно исключить. Достаточно приравнять между собой лишь непосредственные затраты на топливо (топливные составляющие) в том и другом случае. В разумных предположениях о входных параметрах получается, что ценность плутония превосходит цену  $^{235}\text{U}$  примерно на 30%. Напомним, что чем выше ценность, тем это выгоднее, ибо нарабатываемый плутоний как побочный продукт приносит большой доход.

В замкнутом режиме, когда плутония образуется достаточно для загрузки в существующие и вновь вводимые реакторы, надобность в использовании  $^{235}\text{U}$  отпадает. Устанавливать какую-либо цену на плутоний не имеет смысла. Он являет собой некий полуфабрикат, потребление которого замыкается внутри данной отрасли, вырабатывающей единственный конечный продукт — электроэнергию. Впрочем, может оказаться, что плутония образуется даже больше, чем нужно для обеспечения потребностей развивающейся энергетики. Излишний плутоний в принципе полностью или частично может востребоваться для других областей его потенциального применения. Тогда цена плутония будет определяться затратами на его извлечение из твэлов.

Отметим в заключение конкретные выводы, касающиеся расчетов стоимостных показателей АЭС, которые вытекают из настоящей работы.

1. Параметр отчислений от капиталовложений должен быть существенно ниже ныне принимаемого директивного его значения.
2. Стоимость первой загрузки топлива в реактор, а также во весь топливный цикл в целом не должна входить в капиталовложения.
3. Стоимость излишнего плутония в установившемся замкнутом цикле определяется только затратами на его извлечение из отработавших твэлов. Ценность плутония в конверсионном цикле находится из сопоставления со стоимостью  $^{235}\text{U}$ , используемого в тех же реакторах.

4. В режиме частичной перегрузки активной зоны при вычислении затрат на топливо вместо истинного срока службы твэлов (кампании) следует использовать более короткое время микрокампании. В результате уменьшится эффективный рост стоимости за счет ее задержки в производстве.

Учет полученных результатов должен привести к заметному снижению расчетной стоимости электроэнергии на АЭС по сравнению с тем, что дает ныне применяемая методика. Как следствие, улучшится конкурентоспособность ядерной энергетики по сравнению с обычной. Естественно, что все это справедливо, если исходить из принятого основного тезиса: стоимость продукции должна всецело и однозначно отвечать затратам труда на ее выработку.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Основные методические положения технико-экономических расчетов в энергетике. Государственный научно-технический комитет Совета Министров СССР. М., 1959.
2. Методика определения экономической эффективности ГЭС. М.: Госэнергоиздат, 1961.
3. Казачковский О.Д. Основы рациональной теории стоимости. М.: Энергоатомиздат, 2000.
4. Батов В.В., Корякин Ю.И. Экономика ядерной энергетики. М.: Атомиздат, 1969.
5. Макаров А.А., Волкова Е.А., Браилов В.П. Долгосрочный прогноз развития ТЭК России и место атомной энергетики в нем. Доклад на X конф. Ядерного общества России «От Первой в мире АЭС к атомной энергетике XXI века». Обнинск, июнь 1999.

Поступила в Редакцию 2.03.01

УДК 621.039.519

### ЯДЕРНАЯ ИНИЦИАТИВА ПРЕЗИДЕНТА РОССИИ (ПОПЫТКА АНАЛИЗА И ДЕТАЛИЗАЦИИ)

*Работнов Н.С. (Минатом), Ганев И.Х., Лопаткин А.В. (НИКИЭТ)*

В выступлении президента России на саммите тысячелетия предложены инициативы по совершенствованию ядерной энергетики [1, 2] с проведением работ в рамках международной программы [3, 4]. В частности, предлагается «...исключение из использования в мирной ядерной энергетике обогащенного урана и плутония» в «...интересах кардинального повышения эффективности нераспространения ядерного оружия» [1, 2]. В этом контексте для ближайшего времени подразумевается не вообще обогащенный уран и плутоний, а высокообогащенный уран с содержанием  $^{235}\text{U}$  20—90% и материал, например, природный или обедненный уран с высоким (выше 20%) содержанием плутония, т.е. материалы, пригодные для использования в качестве ядерных боеприпасов.

Конечно, не предлагается сразу же исключить использование в ядерной энергетике низкообогащенного урана с содержанием 3—5%  $^{235}\text{U}$ . Однако в будущем после исчерпания запасов дешевого природного урана двухкомпонентная ядерная энергетика, включающая, например, разрабатываемый естественно-безопасный быстрый реактор БРЕСТ-1200 [3] и ВВЭР-1000, сможет после окончания этапа развития работать только на плутонии без обогащенного урана и операции обогащения урана как таковой.

Исключить использование плутония в перспективной крупномасштабной и длительно действующей ядерной энергетике нельзя, так как он является топливом быстрых реакторов, составляющих основу такой энергетике. Быстрые реакторы питаются обедненным ураном, превращая его в продукты деления, плутоний и некоторые другие актиноиды. Масса наработанного плутония превышает массу споровшего плутония,