

Некоторые вопросы экономического стимулирования в ядерной энергетике

В. В. БАТОВ, Ю. И. КОРЯКИН

УДК 338.4:621.039.516

Рассмотрены вопросы платности основных производственных фондов и оборотных средств в ядерной энергетике в свете решений сентябрьского (1965 г.) Пленума ЦК КПСС. Обсуждение касается в основном оборотных фондов, связанных с ядерным горючим. Изложены качественные соображения, касающиеся установления норм платы за производственные фонды в ядерной энергетике. Получены уравнения для расчета величины удельной платы в зависимости от характеристик реактора.

Принципиально решенный на сентябрьском (1965 г.) Пленуме ЦК КПСС вопрос о платности производственных фондов предприятий побуждает к рассмотрению этого экономического стимула применительно к ядерной энергетике. Для ядерной энергетике СССР решение вопроса о количественном значении отчислений от прибыли в бюджет в зависимости от стоимости основных фондов и оборотных средств, закрепленных за АЭС и другими предприятиями топливного цикла, имеет важное значение, поскольку предприятия ядерной энергетике, в частности атомные электростанции, производящие товарный продукт (электроэнергию), характеризуются рядом специфических экономических особенностей. Эти особенности определяются главным образом известным экономическим дуализмом топливной загрузки, которая, с одной стороны, обладает чертами основных фондов — по характеру функционирования (вследствие большой величины рабочего периода, равного T_k/φ , где T_k — длительность кампании, φ — коэффициент использования установленной мощности АЭС) и величине стоимости (достигающей 40% величины прямых капиталовложений в АЭС), а с другой стороны — чертами оборотных фондов — по способу переноса стоимости на готовую продукцию (электроэнергию) за производственный период и незавершенности производства

(отработавшее горючее вследствие оставшихся и накопленных в нем делящихся изотопов, как правило, представляет собой полуфабрикат для дальнейшего производства). Тем не менее отнесение топливной загрузки к оборотным средствам (долговременным оборотным фондам) более правильно, особенно если учитывать, что в отличие от основных фондов, закрепленных за АЭС, топливная загрузка является существенно менее консервативной в своем начальном стоимостном отношении частью АЭС, чем другие ее части и элементы, и что стоимость топливной загрузки уже в процессе работы может изменяться в широких пределах. В самом деле, практика развития ядерной энергетике показывает, что нет ни одного действующего энергетического реактора, в котором каждая последующая топливная загрузка не отличалась бы от предыдущей в технико-экономическом отношении. Более того, топливная загрузка — настолько гибкая и динамическая часть реактора, что ее экономические характеристики могут существенно изменяться даже в течение срока пребывания в реакторе (кампании). Весьма любопытное и уникальное в экономическом отношении свойство топливной загрузки, не имеющее каких-либо аналогий в практике других производств, — ее способность в некоторых случаях (например, в быстрых реакторах-бридерах) увеличивать свою стоимость по отношению к начальной стоимости в процессе работы в течение кампании. Как известно, это объясняется накоплением вторичного делящегося материала, имеющего высокую энергетическую ценность. Следствием этого свойства топливной загрузки является приближение в ряде случаев топливной составляющей себестоимости ядерной электроэнергии к нулю или даже появление кажущейся парадоксальной отри-

цательной топливной составляющей себестоимости ядерной электроэнергии.

Не предпреляя вопроса о размерах платежей со стоимости топливной загрузки, можно тем не менее утверждать, что правильному решению этой проблемы будет способствовать объективное понимание эффективности использования оборотных средств, вложенных в топливную загрузку.

Стоимость ядерного горючего, находящегося на АЭС, занимает подавляющую часть в оборотных средствах АЭС. Оборотные средства, связанные с топливной загрузкой, включают стоимость свежего горючего (в виде рабочих каналов, тепловыделяющих сборок, кассет, твэлов и т. д.), а также стоимость остающегося после выгрузки из реактора и вновь получаемого в активной зоне ядерного горючего, которое фактически является полуфабрикатом для дальнейшего производства (регенерации). В данной статье рассматривается лишь та часть оборотных средств АЭС, которая связана с топливной загрузкой.

В настоящее время критерием экономической эффективности производственных фондов служат так называемые приведенные затраты Z , определяемые выражением

$$Z = C + E_n K, \quad (1)$$

где C — себестоимость; E_n — нормативный коэффициент экономической эффективности производственных фондов; K — производственные фонды.

Путем добавления к себестоимости слагаемого $E_n K$ делается попытка учесть ту часть прибавочного труда, которая соответствует общественным затратам на получение данной продукции. Использование категории приведенных затрат в качестве критерия экономической эффективности использования ядерного горючего позволяет более правильно оценивать экономический эффект, чем использование только категории себестоимости.

Известно, что одна из основных тенденций современного энергетического реакторостроения — неуклонное стремление к увеличению глубины выгорания ядерного горючего, приводящему к уменьшению величины топливной составляющей себестоимости электроэнергии C_T , связанной со средней глубиной выгорания \bar{B} зависимостью

$$C_T \sim \frac{\sum_i C_i}{\bar{B}\eta}, \quad (2)$$

где η — к. п. д. нетто атомной электростанции; $\sum_i C_i$ — сумма затрат топливного цикла (без учета планируемых прибылей).

Как правило, увеличение глубины выгорания ядерного горючего, реализуемое по мере совершенствования технологии изготовления твэлов и повышения их стойкости, достигается за счет увеличения величины начального обогащения горючего. Это, а также некоторые дополнительные затраты, связанные с освоением технологии изготовления усовершенствованных твэлов и созданием дополнительных средств компенсации избыточной реактивности, приводит к увеличению стоимости новых топливных загрузок, иногда довольно существенно. Следовательно, возникает вопрос о том, всякое ли снижение топливной составляющей себестоимости электроэнергии на АЭС является экономически эффективным. В соответствии с существующей методикой [1] снижение себестоимости продукции (в данном случае топливной составляющей себестоимости электроэнергии) экономически эффективно только в том случае, если размер этого снижения ΔC_T отвечает условию

$$\Delta C_T \geq E_n \Delta K_{T.з}, \quad (3)$$

где $\Delta K_{T.з}$ — дополнительные оборотные средства, вложенные в топливную загрузку.

Ориентироваться только на снижение топливной составляющей себестоимости электроэнергии АЭС было бы неправильно, поскольку в таком случае денежное выражение топливной составляющей отражало бы только удельные затраты средств производства и необходимого труда в топливном цикле и не отражало бы затрат труда на производство прибавочного продукта для общества. Частью прибавочного продукта, ранее полученного обществом и направляемого на получение нового прибавочного продукта, как известно из экономической теории, являются производственные фонды, а в данном конкретном случае — дополнительные оборотные средства, вложенные в топливную загрузку. В таком случае коэффициент эффективности E_n выражает существующее в данный момент отношение прибавочного продукта, связанного с использованием ядерного горючего, к его стоимости. Другими словами, экономическая категория топливной составляющей приведенных затрат на производство электроэнергии [2] как раз и учитывает добавление к топливной составляющей себестоимости электроэнергии стоимости того прибавочного про-

дукта в топливном цикле (в денежном выражении), который образуется при получении единицы электроэнергии на АЭС.

С введением платы за производственные фонды часть прибавочного продукта найдет реальное денежное выражение в этой плате. Поскольку плата за пользование производственными фондами будет отражать только стоимость части прибавочного продукта, то, естественно, сумму себестоимости и платы за пользование производственными фондами нельзя рассматривать как необходимый и достаточный критерий экономической эффективности.

Тем не менее существуют технико-экономические задачи, для которых эта сумма является необходимым и достаточным критерием экономической эффективности. Это прежде всего все оптимизационные задачи, когда при прочих равных условиях меняются лишь основные производственные и оборотные фонды.

Установление научно обоснованной величины нормы платы как за основные фонды, так и за оборотные средства ядерной энергетики приобретает важное значение. По мнению авторов настоящей работы, величина нормы платы в ядерной энергетике должна устанавливаться с учетом двух обстоятельств: относительной фондоемкости производства и взаимозаменяемости ядерной и тепловой электроэнергии. Известно, что ядерная электроэнергия призвана заменить «обычную» электроэнергию прежде всего в тех районах СССР, где это наиболее выгодно, а именно в Европейской части СССР. Кроме того, из проведенных в СССР исследований следует, что относительные фондоемкости ядерной и тепловой энергетики (в масштабе нескольких десятков миллионов киловатт) в этих районах примерно одинаковы [3]. Это означает, что норма платы за основные фонды в ядерной энергетике должна быть такой же (или по крайней мере не ниже), как в тепловой энергетике. Характерная для ядерной и обычной энергетики повышенная относительная фондоемкость производства, возможно, потребует пониженной по сравнению с менее фондоемкими отраслями народного хозяйства нормы платы за основные фонды. В целом, однако, следует заметить, что вопрос о том, исчислять ли плату за фонды по единым или дифференцированным нормам, требует еще дополнительного обсуждения.

Понятно, что величину нормы платы за основные фонды в ядерной энергетике нельзя считать неизменной. С ростом технического

прогресса и изменением отдачи основных фондов норма платы за них необходимо будет периодически пересматривать, оставляя ее постоянной на каждый плановый период развития ядерной энергетики. В материалах сентябрьского (1965 г.) Пленума ЦК КПСС указано, что в перспективе плата за фонды станет важнейшей частью доходов государственного бюджета.

Особо следует остановиться на вопросе о величине нормы платы за оборотные средства в ядерной энергетике. Подавляющей частью оборотных средств ядерной энергетики является стоимость ядерного горючего. Если для современной угольной электростанции величина оборотных средств, связанных с топливом, не превышает 1—2% основных производственных фондов электростанции, то для АЭС величина оборотных средств, связанных с топливной загрузкой, может достигать 20—40% основных производственных фондов АЭС. Кроме того, по понятным причинам оборачиваемость средств, связанных с обычным топливом, или любых других оборотных средств в десятки раз превышает оборачиваемость средств, связанных с топливной загрузкой АЭС.

Таким образом, как по относительному размеру, так и по оборачиваемости оборотные фонды, связанные с топливной загрузкой АЭС, имеют черты основных фондов. Эти особенности должны определять подход к установлению нормативной платы за пользование ядерным горючим. По мнению авторов настоящей работы, норма платы должна быть установлена близкой к норме платы за основные фонды ядерной энергетики и во всяком случае более низкой, чем для обычных оборотных средств.

Очевидно, что плата за пользование ядерным горючим должна взиматься за все время нахождения горючего в топливном цикле. Норма платы должна быть принята единой для всех звеньев топливного цикла на достаточно большой период времени (не менее трех — пяти полных периодов топливного цикла, или ~20 лет). Отсюда следует, в частности, что введение единой нормы платы за пользование ядерным горючим в целом для отрасли народного хозяйства (предприятий топливного цикла) будет стимулировать внедрение и использование таких технологических методов передела ядерного горючего, которые обеспечивают наименьшее время пребывания горючего во всех звеньях топливного цикла (с этой точки зрения, например, при выборе метода регенерации отработавшего горючего более предпочтителен такой

метод, который не требует предварительного длительного радиационного «охлаждения» отработавших твэлов). Формально можно было бы, установив единую норму платы за пользование ядерным горючим, считать, что оборотные фонды (цена топливной загрузки) выдаются на время топливного цикла, и, поскольку конечным полезным продуктом ядерной энергетики является электроэнергия, плату за пользование ядерным горючим за все время топливного цикла включать в цену отпускаемой АЭС электроэнергии.

Нетрудно видеть, что если эта плата будет взиматься только с АЭС, то все остальные предприятия топливного цикла не будут заинтересованы в скорейшем обращении ядерного горючего в топливном цикле. Кроме того, в этом случае нивелируются разные по величине потребительные стоимости топливной загрузки в различных звеньях топливного цикла. В частности, несмотря на неодинаковые количества ценных продуктов, содержащихся в единице отработавшего горючего, и стоимости их извлечения, плата за время его нахождения в топливном цикле будет определяться стоимостью свежего горючего, что неправильно. Очевидно, что для общества в целом небезразлично, реализуется или нет стоимость отработавшего горючего. Другими словами, для государства в целом любая АЭС по существу всегда является по крайней мере двухцелевой установкой. Стоимость ядерного горючего при его движении по топливному циклу меняется. По мере превращения ядерного сырья в твэлы (каналы) к стоимости ядерного сырья добавляются стоимости переделов во всех звеньях топливного цикла. Для использования горючего в АЭС характерно то, что отработавшее горючее обладает всегда определенной конечной стоимостью и в некоторых случаях (и это следует подчеркнуть) эта стоимость может быть выше первоначальной стоимости, или стоимости свежего горючего¹.

Если среднюю стоимость ядерного горючего в i -м звене топливного цикла обозначить \bar{C}_i (руб/кгU), то полная удельная плата за пользование горючим (за время топливного цикла) может быть выражена формулой

$$\Pi = p_r \sum_i \bar{C}_i T_i \text{ руб/кг U}, \quad (4)$$

где p_r — нормативный коэффициент эффективности оборотных средств, связанный с ядер-

ным горючим, или норма платы за пользование ядерным горючим, 1/год; T_i — время задержки горючего в i -м звене топливного цикла, годы.

Единая норма платы за пользование ядерным горючим во всех звеньях топливного цикла является, по мнению авторов настоящей работы, условием экономического стимулирования ядерной энергетики. Оптимальность отдельных предприятий топливного цикла ядерной энергетики должна определяться оптимальностью всего топливного цикла (всей отрасли). Поэтому введение единой нормы платы за пользование ядерным горючим во всех звеньях топливного цикла — условие экономического стимулирования ускорения движения горючего в топливном цикле. Дополнительная задержка ядерного горючего, например стоимостью K рублей на время T лет в любом звене топливного цикла, должна выразиться в появлении дополнительной платы в размере $p_r K T$ рублей.

Если величину топливной загрузки реактора обозначить G^1 (кгU/реактор), то суммарные отчисления в бюджет за пользование топливной загрузкой предприятиями топливного цикла (за время топливного цикла) равны

$$\Pi_p = p_r G \sum_i \bar{C}_i T_i \text{ руб/реактор}. \quad (5)$$

На долю АЭС из этой суммы приходится плата

$$\Pi_{\text{АЭС}} = p_r G \bar{C}_{\text{АЭС}} T_{\text{АЭС}} \text{ руб/реактор}. \quad (6)$$

При этом возникает вопрос о том, с какой величины оборотных средств, связанных с ядерным горючим, устанавливать отчисления в бюджет, т. е. что принимать за среднюю стоимость топливной загрузки $\bar{C}_{\text{АЭС}}$ за время нахождения ее в реакторе.

Поскольку с точки зрения потребительной стоимости реализуются лишь начальное и конечное состояния ядерного горючего, то за среднюю стоимость топливной загрузки за время ее пребывания в реакторе следует принимать среднеарифметическое значение ее начальной и конечной стоимости:

$$\bar{C}_{\text{АЭС}} = \frac{1}{2} (C_{\text{св.г}} + C_{\text{отр.г}}) \text{ руб/кг U}, \quad (7)$$

где $C_{\text{св.г}}$ — стоимость свежего горючего в виде твэлов (рабочих каналов, руб/кгU); $C_{\text{отр.г}}$ — стоимость отработавшего горючего, или стоимость оставшегося и накопленного горючего

¹ Например, горючее, находящееся в экранах быстрых реакторов.

¹ Вместе с необходимым запасом горючего на АЭС.

за вычетом расходов по выдержке, транспортировке и регенерации ядерного горючего с учетом потерь от замораживания средств в этих звеньях топливного цикла, руб/кгU. Понятно, что всегда $C_{отр.г} \geq 0$, так как если стоимость выдержки, транспортировки и регенерации ядерного горючего больше стоимости извлеченного и регенерированного горючего, то регенерация экономически нецелесообразна.

Это означает, что результат экономических расчетов не зависит от характера изменения стоимостных показателей топливной загрузки в течение кампании, определяемого особенностями процессов, происходящих в реакторе; важны лишь начальное и конечное значения стоимости топливной загрузки.

В частных случаях полного выгорания ядерного горючего (если пренебречь многочисленными ценными осколками деления — радиоактивными изотопами) или отсутствия регенерации отработавшего топлива (потребительная стоимость отработавшего горючего при этом равняется нулю)

$$\bar{C}_{АЭС} = \frac{1}{2} C_{св.г} \text{ руб/кг U.} \quad (8)$$

Поскольку время нахождения горючего в реакторе связано с длительностью кампании реактора соотношением

$$T_{АЭС} = T_K / \varphi,$$

то плата АЭС за пользование топливной загрузкой определяется выражением

$$П_T = \frac{1}{2} p_T G (C_{св.г} + C_{отр.г}) \frac{T_K}{\varphi} \text{ руб/реактор.} \quad (9)$$

Величина $П_T$ характеризует часть прибавочного продукта, создаваемого сотрудниками АЭС, связанную с использованием топливной загрузки на АЭС за время T_K / φ лет.

Таким образом, в стоимость (цену) электроэнергии, вырабатываемой АЭС за кампанию, должна быть включена и плата за пользование оборотными фондами, связанными с горючим, в размере, определяемом выражением (9). Величина удельной платы (платы, отнесенной на 1 кет·ч отпущенной потребителям электроэнергии) составляет

$$П_T = \frac{100 p_T}{8760 \varphi \bar{J}_{эфф}} \cdot \frac{C_{св.г} + C_{отр.г}}{2} \text{ коп/кет·ч,} \quad (10)$$

где $\bar{J}_{эфф}$ — средняя удельная энергонапряженность горючего на АЭС, включая необходимый запас свежего горючего, или эффективная средняя удельная энергонапряженность горючего, кет(м.) / кгU.

Если на АЭС хранится запас свежего горючего, достаточный для работы АЭС на полной мощности в течение $t_{зап}$ лет, то

$$\bar{J}_{эфф} = \bar{J} \left(1 + \frac{\varphi t_{зап}}{T_K} \right)^{-1}, \quad (11)$$

где \bar{J} — средняя удельная энергонапряженность горючего, находящегося в реакторе¹.

Из формулы (10) следует, что размер платежей при введении платности оборотных средств должен быть обратно пропорционален коэффициенту использования установленной мощности АЭС, эффективной средней удельной энергонапряженности ядерного горючего, термодинамическому к. п. д. АЭС и прямо пропорционален средней стоимости горючего, находящегося на АЭС.

Напомним, что величина топливной составляющей себестоимости электроэнергии АЭС в общем случае выражается формулой

$$C_T = \frac{100}{24} \cdot \frac{C_{св.г} - C_{отр.г}}{\bar{B}\eta} \text{ коп/кет·ч,} \quad (12)$$

т. е. в отличие от платы за пользование ядерным горючим топливная составляющая себестоимости электроэнергии находится в обратно пропорциональной зависимости не от эффективной энергонапряженности горючего (10), а от глубины выгорания горючего. При этом на стоимость электроэнергии переносится разница стоимостей свежего и отработавшего горючего.

Таким образом, сумма топливной составляющей себестоимости ядерной электроэнергии и платы за пользование оборотными фондами, связанными с ядерным горючим, определяется выражением

$$C_T^* = \frac{100}{24} \cdot \frac{C_{св.г} - C_{отр.г}}{\bar{B}\eta} + \frac{100 p_T}{8760 \varphi \bar{J}_{эфф} \eta} \cdot \frac{C_{св.г} + C_{отр.г}}{2}, \quad (13)$$

которое приводится к виду

$$C_T^* = \frac{100}{24 \bar{B}\eta} \left[(C_{св.г} - C_{отр.г}) + p_T \left(\frac{T_K}{\varphi} + t_{зап} \right) \frac{C_{св.г} + C_{отр.г}}{2} \right], \quad (14)$$

где \bar{B} — средняя глубина выгорания, кет(м.) × сутки / кг U.

¹ В данном случае не учитывалось наличие на АЭС отработавшего горючего, поскольку бассейн для его выдержки в принципе можно рассматривать как самостоятельное предприятие топливного цикла, территориально совпадающее с АЭС.

Наиболее эффективное (оптимальное) использование ядерного горючего соответствует минимальному значению величины C_T^* в задачах, для которых изменениями фонда заработной платы и основных производственных фондов можно пренебречь. Оптимальное использование ядерного горючего осуществляется при достижении независимыми параметрами АЭС оптимальных значений, определяемых из равенств

$$\frac{\partial C_T^*}{\partial x_i} = 0 \quad (i = 1, 2, \dots, n), \quad (15)$$

где n — число независимых параметров АЭС.

Следует подчеркнуть, что условия (15) справедливы (в большинстве случаев с достаточной степенью точности) лишь для случаев, когда изменение параметров активной зоны не приводит к изменению других характеристик АЭС (а следовательно, и затрат).

В более общем случае (для задач, в которых можно пренебрегать изменениями фонда заработной платы) условие оптимальности независимых параметров можно записать в виде системы равенств

$$\frac{\partial C^*}{\partial x_i} = 0 \quad (i = 1, 2, \dots, n), \quad (16)$$

где $C^* = C + \Pi$; C — себестоимость отпущенной электроэнергии; Π — плата за пользование основными и оборотными фондами АЭС.

Наконец, в самом общем случае условие оптимальности независимых параметров АЭС записывается в виде системы равенств

$$\frac{\partial \Pi}{\partial x_i} = 0 \quad (i = 1, 2, \dots, n), \quad (17)$$

где Π — оптовая цена производства электроэнергии.

Нетрудно видеть, что условия (15) и (16) — частные случаи общего условия (17), поскольку оптовая цена складывается из себестоимости и прибавочного продукта, одна часть которого рассчитывается пропорционально фонду заработной платы, а вторая — пропорционально производственным фондам.

Строго говоря, вследствие того, что основные или независимые параметры АЭС квази-независимы, практическая оптимизация экономических показателей АЭС — весьма сложная и трудоемкая, но в то же время и весьма важная задача, решение которой может дать ощутимый народнохозяйственный эффект. Развитие методов оптимизации — одна из важней-

ших проблем ядерной энергетики, особенно в условиях перехода на новые методы хозяйствования.

Введение платности производственных фондов, являющейся важным экономическим стимулом более рационального использования ядерного горючего в топливном цикле, позволяет по-новому и более глубоко взглянуть на экономику топливного цикла. В частности, такие важные вопросы, как оптимальные время ввода и производительность предприятий топливного цикла, могут быть экономически правильно решены только с учетом платности производственных фондов. При сравнении различных типов реакторов оборотные фонды, связанные с образованием вторичного ядерного горючего, выступают в роли «вытеснителя» капиталовложений в горнорудную промышленность и частично ураншерабатывающие предприятия топливного цикла. Отсюда следует, что математический аппарат исследования сравнительной экономической эффективности различных типов реакторов может включать в себя понятия отрицательных капиталовложений, а введение платности позволяет правильно понять экономическую значимость оборачиваемости регенерированного горючего.

Настоящая статья, естественно, не охватывает всего многообразия вопросов, которые возникают в экономике ядерной энергетики в связи с введением платности основных производственных фондов и оборотных средств. Использование этого экономического стимула наряду с другими, например рентой, учитывающей природные условия (отчуждение территорий для строительства АЭС и других предприятий топливного цикла), может привести к изменению представлений об экономических показателях ядерной энергетики и потому требует дальнейшего изучения.

Поступила в Редакцию 29/I 1966 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Основные методические положения технико-экономических расчетов в энергетике. М., Гостехиздат, 1959.
2. Ю. И. Корякин, В. В. Батов, В. Г. Смирнов. «Атомная энергия», 17, 94 (1964).
3. Н. М. Синев, Б. Б. Батуров, В. М. Шмелев. Доклад № 294, представленный СССР на Третью международную конференцию по мирному использованию атомной энергии (Женева, 1964).