

УДК 621.039.003.338.27.338.31

РАСЧЕТ ПРИВЕДЕННОЙ СТОИМОСТИ РАБОТЫ РАЗДЕЛЕНИЯ ИЗОТОПОВ УРАНА

Павлов Ю.Г., Ульянов Ю.А. (АО «Техснабэкспорт», г. Москва),

Семенов Е.В., Харитонов В.В. (НИЯУ МИФИ, г. Москва)

Для изготовления топлива АЭС разного типа требуется обогащение природного урана от 2 до 20% ^{235}U . Цены на услуги по обогащению урана начали снижаться после закрытия газодиффузионных заводов с высокой себестоимостью производства. Также сильное влияние на рынок обогащения оказала авария на АЭС «Фукусима», остановка японских АЭС и принятие решений о сокращении или полном отказе от АЭС в других странах. Для удовлетворения потребностей в обогащенном уране в странах, активно развивающих ядерную энергетику, встает вопрос о том, что эффективнее: закупка обогащенного урана на рынке или инвестиции в создание собственного разделительного производства. В любом случае необходимо оценивать эффективность инвестиций в разделительное производство и связанную с этим себестоимость обогащения урана (себестоимость единицы работы разделения) [1]. Целью настоящей работы является построение экономико-математической модели расчета приведенной стоимости работы разделения изотопов урана для оценки целесообразности инвестиций в строительство разделительного предприятия.

Модель расчета приведенной стоимости единицы работы разделения. Обогащение урана изотопом ^{235}U принято характеризовать работой разделения. При разделении изотопов урана природный уран в форме гексафторида UF_6 расходом F (кг/год) и концентрацией f = 0,711% по массе поступает на вход разделительного устройства. В результате разделения исходного сырья образуются два потока: обогащенный урановый продукт расходом P (кг/год) и концентрацией $p > f$ и обедненный уран (отвал) расходом $D = F - P$ (кг/год) и концентрацией $d < f$. Баланс массы в процессе разделения не изменяется как по полному количеству урана, так и по изотопному составу, включая ^{235}U . Соответственно для взаимосвязи трех потоков (расхода) урана с разной концентрацией ^{235}U можно записать соотношения [1, 2]

$$F = P + D; \quad F = P \frac{p-d}{f-d}; \quad D = P \frac{p-f}{f-d}. \quad (1)$$

Производительность разделительной установки или обогатительного предприятия в целом принято характеризовать работой разделения R :

$$R = P\Phi(p) + D\Phi(d) - F\Phi(f); \quad (2)$$

$$\Phi(z) = (2z - 1) \ln z / 1 - z.$$

В выражении (2) работа разделения представлена как разность между ценностью полученных продуктов $P\Phi(p) + D\Phi(d)$ и исходного сырья (питания) $F\Phi(f)$ [1—6]. Безразмерная функция $\Phi(z)$ есть разделительный потенциал, параметром которого является концентрация ^{235}U в соответствующем потоке: $z = p, d$ или f . Работа разделения, как и разделительный потенциал, характеризует состояние газовой смеси независимо от способа разделения изотопов. Например, для получения из природного урана 1 кг обогащенного $p = 4,4\%$ при концентрации отвала $d = 0,22\%$ требуется работа разделения $R \sim 7,12$ е.р.р., поскольку $\Phi(p) = 2,81$, $\Phi(d) = 6,09$, $\Phi(f) = 4,87$, и для этого потребуется $F = 8,51$ кг сырья, отходов будет произведено $D = 7,51$ кг.

Цена обогащенного уранового продукта C_p обогащением p (в форме гексафторида урана UF_6 в расчете на 1 кг урана) определяется согласно принципу аддитивности затрат:

$$C_p P = C_f F + C_R R, \quad (3)$$

где C_f — цена природного урана в форме UF_6 , руб./кг, которая состоит, в свою очередь, из цены природной U_3O_8 и конверсии в UF_6 ; C_R — цена единицы работы разделения, руб./е.р.р. Так, для рассмотренного примера при $C_f = 50$ у.е./кг, $C_R = 50$ у.е./е.р.р. согласно выражению (3) $C_p = 781$ у.е./кг. Цена утилизации отвального урана опущена, хотя предприятия учитывают стоимость утилизации отходов в цене продукции и формируют под последующую утилизацию отходов резервные фонды.

Оценка приведенной стоимости работы разделения, как и, например, приведенной стоимости производства электроэнергии, выводится из главного критерия эффективности инвестиционного проекта — чистого дисконтированно-

го дохода ЧДД [1, 7, 8]. ЧДД — это приведенная к некоторому времени T_0 чистая дисконтированная прибыль, накопленная (суммированная) за весь период $T = T_c + T_3$ жизненного цикла проекта (здесь T_c , T_3 — период сооружения завода и его эксплуатации соответственно). Фактически задачей инвестора является нахождение параметров или условий проекта, при которых чистый дисконтированный доход имеет максимальное положительное значение — ЧДД > 0 означает прибыльность, ЧДД < 0 — убыточность проекта к концу его жизненного цикла. В аналитических методиках расчета чистого дисконтированного дохода и вытекающих из него трех косвенных критериев эффективности (приведенной стоимости единицы продукции, периода окупаемости инвестиций, внутренней нормы доходности) в качестве коэффициента дисконтирования денежных потоков использованы экспоненциальная $\exp(-st)$ или степенная $(1+s)^{-t}$ функции дисконтирования, где s — ставка дисконтирования, t — время от начала сооружения завода [3, 4, 6, 9—11]. Степенная функция дисконтирования в отличие от экспоненциальной отражает практику подведения финансовых итогов в конце года. Наиболее часто в качестве ставки дисконтирования используют средневзвешенную стоимость капитала, обозначаемую в финансовом менеджменте как WACC и учитывающую стоимость заемного и собственного капиталов. Временем приведения T_0 денежных потоков в работах [1, 7, 8] выбрано начало сооружения объекта (АЭС или разделительного завода), т.е. $T_0 = 0$. В настоящей работе используются степенная функция дисконтирования, в качестве времени приведения денежных потоков — начало эксплуатации завода, а не строительства. В этом случае выражение для определения чистого дисконтированного дохода принимает следующий вид:

$$\begin{aligned} \text{ЧДД} &= -\sum_{t=1}^{T_c} \frac{K_t}{(1+s)^{t-T_c}} + \sum_{t=T_c+1}^{T_c+T_3} \frac{B_t - Y_t}{(1+s)^{t-T_c}} = \\ &= -K\varphi_c + \frac{B - Y^*}{s}\varphi_3, \end{aligned} \quad (4)$$

где K_t — годовые капитальные затраты в году t на стадии сооружения завода длительностью T_c , руб./год; Y_t — годовые эксплуатационные затраты (издержки, руб./год) в период эксплуатации завода длительностью T_3 , лет; B_t — годовая вы-

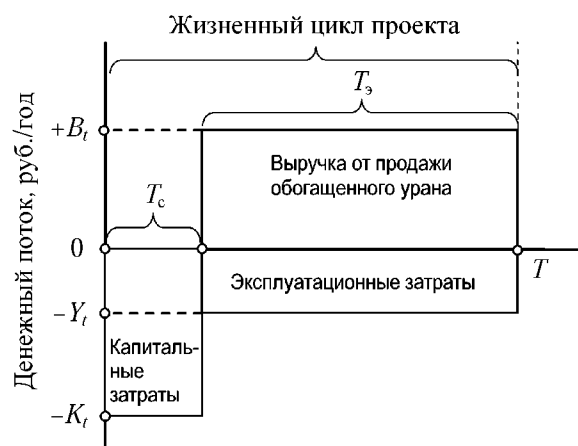
ручка от продажи обогащенного урана в период эксплуатации завода, руб./год; $K = \sum_{t=1}^{T_c} K_t$ — суммарные капитальные затраты, руб.; B , Y^* — среднегодовые за время эксплуатации выручка и эксплуатационные затраты. Безразмерные коэффициенты приведения φ_c и φ_3 учитывают сроки сооружения и эксплуатации завода и определяются по формулам

$$\varphi_c = \sum_{t=1}^{T_c} \frac{\varepsilon_t}{(1+s)^{t-T_c}}; \quad \varphi_3 = s \sum_{t=T_c+1}^{T_c+T_3} \frac{\delta_t}{(1+s)^{t-T_c}}, \quad (5)$$

где $\varepsilon_t = K_t/K$ — доля капитальных затрат в году t , $\delta_t = (B_t - Y_t)/(B - Y^*)$ — отношение прибыли в году t к среднегодовой прибыли завода. В базовом варианте при постоянных ежегодных затратах и выручке, как показано на рис. 1, $\varepsilon_t = 1/T_c$, поскольку $K = K_t T_c$, $\delta_t = 1$. Поэтому суммы в уравнении (5) представляют собой суммы геометрических прогрессий со знаменателем прогрессии $1/(1+s)$ и числом слагаемых (членов прогрессии), равным T_c для φ_c и T_3 для φ_3 . В итоге коэффициенты приведения принимают вид явных аналитических функций от срока сооружения T_c и эксплуатации T_3 завода и ставки дисконтирования денежных потоков s :

$$\varphi_c = \frac{(1+s)^{T_c} - 1}{s T_c} \geq 1; \quad \varphi_3 = 1 - (1+s)^{-T_3} \leq 1. \quad (6)$$

Выбор начала эксплуатации завода в качестве времени приведения денежных потоков удобен тем, что коэффициент приведения φ_c зависит только от длительности сооружения T_c ,



Р и с. 1. Базовая схема ожидаемых ежегодных денежных потоков инвестиционного проекта завода по разделению изотопов урана на протяжении жизненного цикла T , включающего период строительства T_c и эксплуатации T_3 завода

коэффициент ϕ_3 — только от длительности эксплуатации T_3 . Отметим, что выбор времени приведения денежных потоков не влияет на приведенную стоимость работы разделения и внутреннюю норму доходности в отличие от чистого дисконтированного дохода и периода окупаемости инвестиций. Например, при $T_c = 4$ года, $T_3 = 30$ лет и $s = 10\%/год$ коэффициент приведения $\phi_c = 1,16$, $\phi_3 = 0,94$. В идеальном случае «быстро строим, долго эксплуатируем» ($T_c = 1$, $T_3 \rightarrow \infty$) $\phi_c = \phi_3 = 1$ независимо от ставки дисконтирования. Таким образом, в идеальном случае достигается наивысший чистый дисконтированный доход при заданных инженерно-экономических параметрах завода — капитальных K , эксплуатационных затратах Y и выручке от продажи продукции B , а также ставки дисконтирования s год⁻¹:

$$\text{ЧДД} \leq -K + \frac{B - Y}{s}. \quad (7)$$

Входящая в выражение для чистого дисконтированного дохода годовая выручка B раздельного завода определяется суммой контрактов на обогащенный урановый продукт, включающих стоимость работы разделения и природного урана, необходимых для производства заданного количества обогащенного урана в соответствии с контрактными условиями и выражением (3). Выручка завода по контракту $B = C_{Rk}R_k + C_{Fk}F_k$, где C_{Rk} , R_k — контрактная цена и контрактный объем работы разделения соответственно; C_{Fk} , F_k — контрактная цена и контрактный объем природного урана соответственно. Объемы R_k и F_k зависят от концентрации d контрактного отвала согласно выражению (1).

Эксплуатационные затраты завода $Y^* = Y + Y_U$ включают, наряду с затратами $Y = Y_{эл} + Y_3 + Y_m$ на электроэнергию $Y_{эл}$, зарплату Y_3 и другие материальные и операционные издержки Y_m , затраты $Y_U = C_{U.c}F_c$ на приобретение на рынке сырья UF_6 в соответствии с потребностями производства. В этом случае годовая прибыль завода определяется по выражению

$$B - Y^* = C_{Rk}R_k + C_{Fk}F_k - C_{U.c}F_c - Y.$$

В частном случае при равенстве объемов производственного и контрактного отвалов, а также контрактной и закупочной цены на природный уран годовая прибыль $B - Y^* = C_{Rk}R - Y$

В этом случае объем законтрактованного объема работы разделения равен мощности завода R . Подставляя это выражение в формулы (4), (7) и приравнявая ЧДД = 0, находим минимально возможную цену C_{Rm} единицы работы разделения (по контракту) для завода мощностью R :

$$C_{Rm} = \frac{AK + Y}{R} \geq \frac{sK + Y}{R}. \quad (8)$$

Здесь $A = s\phi_c/\phi_3 \geq s$ — эффективная норма амортизации капитальных затрат. Выражение (8) определяет приведенную стоимость единицы работы разделения. В идеальном случае при $T_c = 1$, $T_3 \rightarrow \infty$ и $\phi_c = \phi_3 = 1$ эффективная норма амортизации минимальна и равна ставке дисконтирования s , соответственно минимальна и приведенная стоимость единицы работы разделения (при прочих равных условиях). Если контрактная стоимость единицы работы разделения C_R ниже приведенной (минимальной) стоимости C_{Rm} , учитывающей капитальные и эксплуатационные затраты, то чистый дисконтированный доход принимает отрицательное значение и инвестиционный проект становится убыточным. Из выражения (8) следует, что проекты с высокими капитальными затратами могут быть эффективными при низких ставках дисконтирования, т.е. при низкой стоимости кредитных ресурсов.

Рассмотрим ограничения на ставку дисконтирования, существенно влияющую на эффективность инвестиций и период окупаемости проекта. Внутренняя норма доходности инвестиционного проекта (раздельного завода) служит ограничением сверху на ставку дисконтирования. Как следует из выражений (4) и (7), чистый дисконтированный доход существенно снижается с ростом ставки дисконтирования. Максимально возможная ставка дисконтирования, при которой ЧДД = 0, есть внутренняя норма доходности, т.е. ЧДД = 0 при $s = \text{ВНД}$, и проект окупается только к концу жизненного цикла проекта. Для прибыльности проекта и сокращения срока его окупаемости ставка дисконтирования должна быть меньше внутренней нормы доходности, т.е. выбираться из диапазона $0 < s < \text{ВНД}$. Чем выше внутренняя норма доходности, тем устойчивее проект и тем больше возможностей найти необходимое число кредитных предложений на рынке. Выражение для расчета внутренней нормы доходности находим

из выражения (4), учитывая, что ЧДД = 0 при $s = \text{ВНД}$:

$$\text{ВНД} = \frac{(B - Y^*)\varphi_3(s = \text{ВНД})}{K\varphi_c(s = \text{ВНД})}. \quad (9)$$

Поскольку $\varphi_c/\varphi_3 \geq 1$, то внутренняя норма доходности всегда меньше ее максимального значения $(B - Y^*)/K$, характерного для идеального проекта ($T_c = 1$, $T_3 \rightarrow \infty$, когда $\varphi_c/\varphi_3 = 1$). В этом случае получается простая и наглядная связь внутренней нормы доходности с чистым дисконтированным доходом:

$$\frac{\text{ЧДД}}{K} = \frac{\text{ВНД}}{s} - 1,$$

в котором $\text{ВНД} = (B - Y^*)/K$ согласно выражению (9).

Дисконтированный период Θ окупаемости инвестиций в разделительный завод целесообразно иметь наименьшим как в интересах инвестора, так и с целью повысить конкурентоспособность продукции. Величина Θ , отсчитываемая от начала эксплуатации завода, определяется последовательным расчетом ЧДД(t) как функции времени. В момент времени $t = T_c + \Theta$ кривая ЧДД(t) проходит через нуль и становится положительной, и проект будет прибыльным. Заменяя в выражении (4) период T_3 , входящий в коэффициент приведения φ_3 , на Θ и приравнявая чистый дисконтированный доход нулю, находим взаимосвязь периода окупаемости завода с его технико-экономическими параметрами:

$$\Theta = -\ln^{-1}(1+s) \ln \left[1 - \frac{K[(1+s)^{T_c} - 1]}{(B - Y^*)T_c} \right] \geq -\ln^{-1} \times \\ \times (1+s) \ln \left(1 - \frac{s}{\text{ВНД}} \right). \quad (10)$$

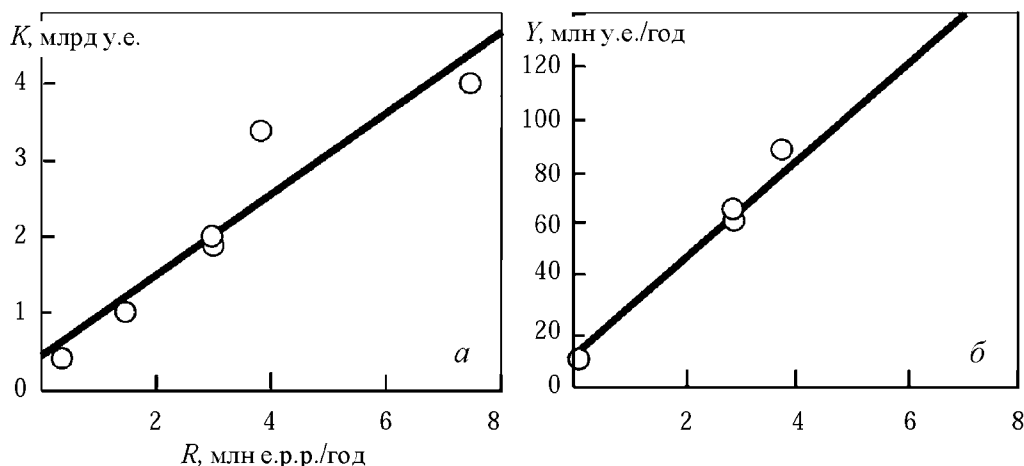
Например, в идеальном случае ($T_c = 1$, $T_3 \rightarrow \infty$ и $\varphi_c = \varphi_3 = 1$) при $\text{ВНД} = (B - Y^*)/K = 10\%/год$ и $s = 5\%/год$ период окупаемости составит $\Theta = 14$ лет, при длительности сооружения завода 4 года и тех же капитальных затратах $\Theta = 16$ лет (от начала эксплуатации завода).

Составляющие приведенной стоимости работы разделения. Как следует из выражения (8), приведенная стоимость единицы работы разделения $C_{\text{Рм}}$ включает две составляющие:

капитальную AK/R и эксплуатационную Y/R . В свою очередь, капитальные затраты K можно разбить на три слагаемых: $K = K_c + K_{\text{ц}} + K_{\text{ф}}$, где K_c — затраты, связанные с сооружением зданий и коммуникаций, включая землеотвод, лицензирование и др.; $K_{\text{ц}}$ — затраты на центрифуги и сопутствующее оборудование; $K_{\text{ф}}$ — затраты, связанные с финансированием проекта (проценты по кредитам, непредвиденные расходы и др.). В зарубежной литературе сумму $K_c + K_{\text{ц}}$ обычно называют мгновенными капитальными затратами (overnight costs), отражающими проектную стоимость оборудования и строительства на некоторый начальный момент времени. Эксплуатационную составляющую Y/R также можно разбить на три части в соответствии с рассмотренными типами эксплуатационных затрат $Y = Y_{\text{эл}} + Y_3 + Y_{\text{м}}$, где $Y_{\text{эл}} = C_{\text{эл}}E$ — затраты на электроэнергию (питание центрифуг и поддержание в газообразном состоянии UF_6); $C_{\text{эл}}$ — цена потребляемой заводом электроэнергии; $E = \varepsilon R$ — годовая потребность завода в электроэнергии; ε — удельные затраты электроэнергии (35—60 кВт·ч/е.р.); $Y_3 = C_3L$ — годовой фонд оплаты труда сотрудников (с учетом налоговых начислений); L — численность работников завода; C_3 — среднегодовая заработная плата с налогами (до 120 тыс. у.е./чел. в год); $Y_{\text{м}} = \mu K$ — материальные и операционные затраты (покупка сырья, замена оборудования, ремонтные работы, налоги и др.), необходимые для обеспечения работы разделения; μ — доля капитальных затрат, расходуемых ежегодно на материальные затраты (0,6—1%/год). Данных об инженерно-экономических параметрах заводов по разделению урана мало. Данные [12—14] для шести построенных, строившихся или планировавшихся к строительству заводов в США, Франции, Бразилии и Китае свидетельствуют о том, что капитальные и эксплуатационные затраты увеличиваются с ростом мощности завода (при $R < 8$ млн е.р./год) примерно по линейному закону (рис. 2). Обработка этих данных методом наименьших квадратов дает

$$K = a + qR, \quad Y = b + CR, \quad (11)$$

где коэффициенты $a = 420$, $q = 540$, $b = 10$, $C = 18$, если капитальные затраты K выражать в млн у.е., эксплуатационные Y — в млн у.е./год; R — мощность завода, млн е.р./год. Коэффициент C имеет смысл асимптотической величин



Р и с. 2. Влияние мощности завода по разделению изотопов урана в газовых центрифугах на капитальные (а) и эксплуатационные затраты (б): $\circ$ — данные [6, 12, 13]; — — расчет по формуле $K = 0,42 + 0,54R$ (а) и $Y = 10 + 18R$ (б)

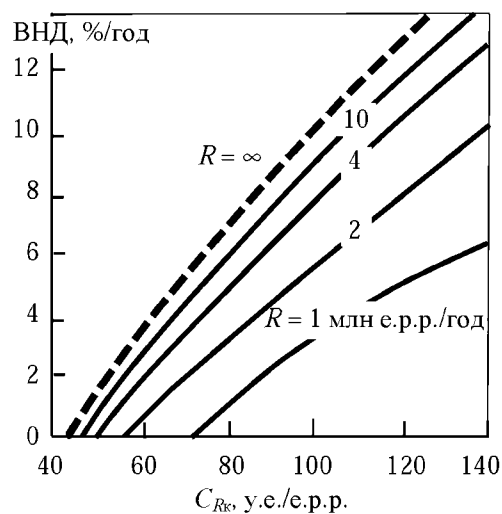
ны себестоимости единицы работы разделения (при $R \rightarrow \infty$). По оценкам [14] для четырех действующих в нашей стране разделительных заводов эксплуатационные затраты $Y \sim 6,9R$ оказались значительно ниже, чем согласно расчетам по формуле (11). Отношение $Y/R \sim 6,9$ у.е./е.р., имеющее смысл себестоимости единицы работы разделения, в 2,6 раза меньше коэффициента C в формуле (11).

Подстановка выражений (11) в (8) дает функциональную зависимость приведенной стоимости работы разделения от рассмотренных технико-экономических показателей разделительного завода, учитываемых в формулах (9) и (11), в виде гиперболической убывающей функции от мощности завода R , е.р./год:

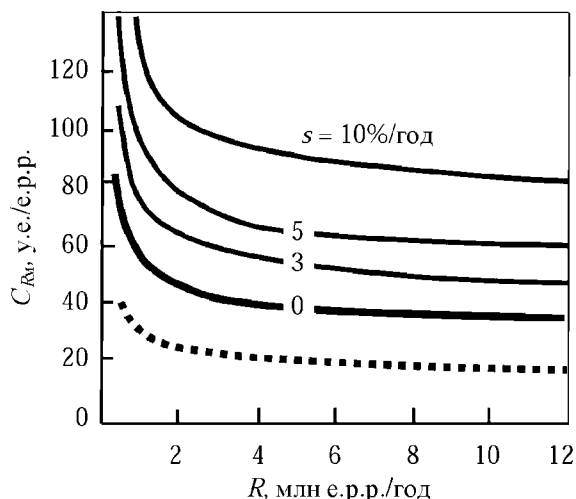
$$C_{RM} = C_{\infty} + \beta/R, \quad (12)$$

где $C_{\infty} = C + qA$ — асимптотическая стоимость работы разделения при $R \rightarrow \infty$, у.е./е.р.; $\beta = b + aA$ — параметр с размерностью годовой выручки, у.е./год. Отметим, что оба коэффициента C_{∞} и β в формуле (12) возрастают с увеличением ставки дисконтирования, которая не должна превышать внутреннюю норму доходности (10). Внутренняя норма доходности проекта разделительного завода, как следует из рис. 3, быстро уменьшается при снижении контрактной цены работы разделения, что ограничивает возможности кредитования проекта в странах, где банковские ставки на кредиты высоки. Причем чем меньше мощность завода, тем меньше норма доходности и тем труднее обеспечить прибыльность проекта. По этой причине

приведенная стоимость работы разделения рассчитана при ставке дисконтирования не выше 10%/год. Как следует из рис. 4, приведенная стоимость работы разделения C_{RM} резко возрастает с уменьшением мощности завода при $R < 4$ млн е.р./год. С ростом мощности завода $R > 4$ млн е.р./год стоимость работы разделения мало отличается от асимптотических значений $C_{\infty} \sim 35\text{—}85$ у.е./е.р. (при $s \leq 10\%$ /год). Как видно, для снижения стоимости работы разделения целесообразно строить завод мощностью более 4 млн е.р./год. Для полной загрузки такого завода потребуются заказы на обогащенный урановый продукт примерно 28 энергоблоков электрической мощностью по 1000 МВт при потребности каждого энергоблока в обогащенном уране около 20 т/год (для



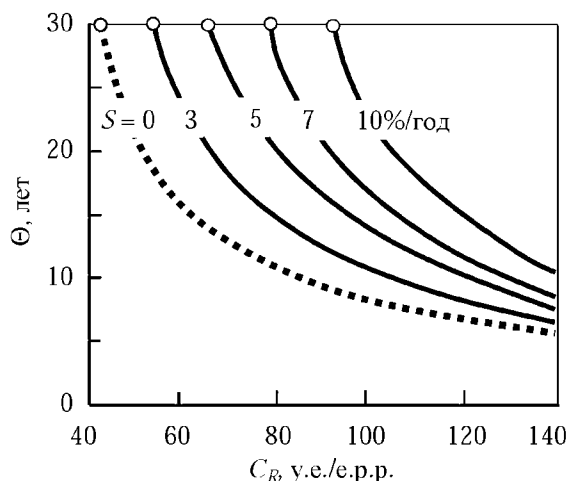
Р и с. 3. Зависимость внутренней нормы доходности инвестиционного проекта от контрактной (отпускной) цены работы разделения и мощности завода, рассчитанная по формулам (6), (9), (11) при $T_c = 4$ года, $T_o = 30$ лет



Р и с. 4. Зависимость приведенной стоимости C_{Rm} работы разделения урана от мощности завода R и ставки дисконтирования $s = 0—10\%/год$, рассчитанная по формуле (12) с учетом (6) и (11) при $T_c = 4$ года, $T_a = 30$ лет: ■ — себестоимость работы разделения при $A = 0$

подпитки выгорающего топлива) и соответственно в работе разделения 140 тыс. е.р.р./год. Такая ситуация может представлять интерес только для стран с развитой ядерной энергетикой.

Как следует из рис. 5, для разделительных заводов характерен длительный период окупаемости. При ставке дисконтирования $s \leq 10\%/год$ наблюдается сильное возрастание периода окупаемости завода (более 10 лет) с ее увеличением и снижением контрактной цены единицы работы разделения.



Р и с. 5. Зависимость дисконтированного периода окупаемости разделительного завода (после начала эксплуатации) от ставки дисконтирования и контрактной цены единицы работы разделения при мощности завода $R = 4$ млн е.р.р./год, рассчитанная по формуле (10) с учетом (6) и (11) при $T_c = 4$ года: ■ — приведенная стоимость работы разделения при сроке эксплуатации $T_a = 30$ лет

Таким образом, расчеты показали, что проекты с высокими капитальными затратами, характерными для разделительного завода, чувствительны к ставке дисконтирования (цене кредитных ресурсов) и мощности производства. С одной стороны, с ростом мощности завода эффективность инвестиционного проекта повышается, с другой, для завода большой мощности в рыночных условиях могут отличаться контрактные и производственные отвалы и цены на природный уран. Это может привести к существенному изменению критериев эффективности инвестиций в разделительный завод.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Харитонов В.В. Динамика развития ядерной энергетики. Экономико-аналитические модели. М., НИЯУ МИФИ, 2014. 328 с.
2. Борисевич В.Д., Борман В.Д., Сулаберидзе Г.А. и др. Физические основы разделения изотопов в газовой центрифуге. Под ред. В.Д. Бормана. Учебное пос. М., МИФИ, 2005. 320 с.
3. Экономика ядерного топливного цикла. Пер. с англ. М.: Информ-Атом, 1999. 164 с.
4. INPRO Methodology for Sustainability Assessment of Nuclear Energy Systems: Economics. INPRO Manual. № NG T 4.4. Vienna: IAEA, 2014. 90 p.
5. Глебов А.П., Баранав Ю.Д., Клушин А.В. Оценка стоимости перспективных ядерных энергоблоков на предпроектной стадии разработки. — В сб.: 10-я Межд. научно технич. конф. «Обеспечение безопасности АЭС с ВВЭР». Подольск, ОКБ «Гидропресс», 16—19 мая 2017 г., с. 121—128.
6. Rothwell G. The Economics of Future Nuclear Energy: an Update of University of Chicago's 2004. Routledge, Taylor and Francis Group plc., 2016. 228 p.
7. Харитонов В.В., Боков А.В., Костерин Н.Н. Эффективность и риск инвестиций в ядерную энергетику. — Атомная энергия, 2017, т. 122, № 6, с. 339—348.
8. Харитонов В.В., Костерин Н.Н. Критерии окупаемости инвестиций в ядерную энергетику. — Изв. вузов. Ядерная энергетика, 2017, № 2, с. 157—168.
9. Projected Costs of Generating Electricity. OECD, IEA, NEA, 2015. 212 p.
10. Nuclear New Build: Insights into Financing and Project Management. NEA, 2015. 248 p.
11. Виленский П.Л., Лившиц В.Н., Смоляк С.А. Оценка эффективности инвестиционных проектов. Теория и практика. М.: Дело, 2008. 1104 с.
12. The Nuclear Fuel Report Global Scenarios for Demand and Supply Availability 2017—2035. Rep. № 2017/005. WNA, September 2017. 185 p.
13. Rothwell G. Market power in uranium enrichment. — Sci. Global Security, 2009, № 17, p. 132—154.
14. Rothwell G. Could Russia Dominate Commercial Uranium Enrichment? Washington. Center for Strategic & International Studies, 11 June 2012. 24 p.

Поступила в Редакцию 9.11.17