

## К ВОПРОСУ ФИНАНСИРОВАНИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА АЭС

Строительство крупных энергетических объектов и особенно АЭС требует значительных инвестиций, и некоторые отклонения от графика строго запланированных затрат могут привести к крайне неблагоприятной ситуации. Такая ситуация чревата возникновением серьезных проблем во взаимоотношениях с кредиторами, необходимости изыскания краткосрочных высокоставочных кредитов для решения темпоральных финансовых проблем строительства, срывом выполнения графика строительных работ и т.д. Мировой практике известны подобные ситуации. Все отмеченные факторы в конечном итоге приводят к повышению стоимости проекта, следовательно повышается себестоимость выработки электроэнергии на АЭС, снижается ее конкурентоспособность на электроэнергетическом рынке.

Как ни один из крупных инвестиционных проектов, включая проекты в энергетической отрасли, проекты по со-оружению АЭС сильно политизированы. Таким образом, в подавляющем большинстве случаев, решение о финанси-ровании строительства АЭС в той, или иной стране как правило, принимается не в экономической, а скорее в политической плоскости. Четкая политическая ориентация страны, проверенное многолетнее партнерство, геополитические интересы страны (стран)-донора и др. являются в конечном итоге определяющими факторами при принятии решения о финансировании или сооружении АЭС во многих развивающихся странах. Соответственно, политический компонент риска реализации проекта АЭС также является достаточно высоким.

При сооружении АЭС приходится учитывать и ряд особенностей, связанных со спецификой технологического процесса,

с повышенными требованиями к надежности работы оборудования, систем и обеспечению радиационной безопасности для персонала и окружающей среды. Последнее обстоятельство приводит к тому, что многие решения по строительной части, конструкциям зданий и помещений, в которых размещается оборудование ядерной установки и радиоактивных контуров, выполняются с учетом обеспечения перманентно возрастающих требований к эффективной биологической защите.

С учетом вышеизложенного, особое значение принимает тщательное планирование в свете правильной оценки факторов риска подготовительной и строительной стадии. Практика строительства атомных электростанций подразумевает следующие этапы [1]:

Первый этап, предстроительные организационные мероприятия и внеплощадочные подготовительные работы, длительность которого составляет один год. Второй этап — подготовительный период строительства: внутри-площадочные работы и завершение внеплощадочных работ, длительность примерно один год.

Третий этап, основной период строительства, который длится с третьего года по шестой. И последний этап четвертый в течении седьмого года период завершения строительства.

Существуют определенные факторы, которые при предварительной оценке не однозначны, это производственные затраты, которые не основаны на контрактах или предложениях поставщиков. Также произошли большие изменения в политических и экономических условиях, по сравнению с теми, когда были осуществлены последние проекты по строительству АЭС. Нормативные требования, требования гарантии качества, являются более строгими, и регулирующий орган имеет больше полномочий.

Таким образом, существуют риски подготовительной и строительной стадии, которые вносят неопределенность на объем инвестиций. К рискам подготовительной стадии можно отнести следующие факторы:

Таблица 1. Риски подготовительной стадии.

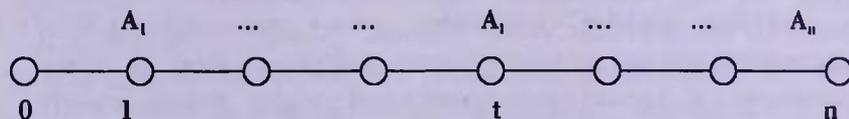
| Вид риска                               | Влияние   | Контрмеры   |
|---|---|---|
| Удаленность от транспортных магистралей | Доп. затраты на создание подъездных путей       | Не требуется, т.к. все подъезды в наличии.          |
| Инженерное обеспечение                  | Затраты на отводку электроэнергии, воды, тепла. | Затраты минимальны, основные коммуникации в наличии |
| Доступность подрядчиков                 | Опасность завышения стоимости работ             | Тендеры по наиболее капиталоемким работам           |

К рискам строительной стадии можно отнести следующие факторы:

Таблица 2. Риски строительной стадии.

| Вид риска   | Влияние   | Контрмеры   |
|---|---|---|
| Непредвиденные затраты:<br>-инфляционные<br>-рост цен | Увеличение заемных средств                              | Факторы риска нужно учесть при составлении сметы расходов |
| Несвоевременное выполнение сроков работ               | Увеличение времени запуска производственного процесса   | Риск снижается организационными мерами и контролем        |
| Несвоевременная подготовка техн. персонала            | Увеличение срока выхода на проектный объем обслуживания | Риск снижается организационными мерами и контролем        |
| Несвоевременное проведение пусконаладочных работ      | Отдаление срока аккредитации АЭС в системе              | Риск снижается экономическими санкциями к подрядчикам     |

При расчете капитальных затрат, который не учитывает риски, схема выглядит следующим образом, см. рис 1.



где  $A_1, \dots, A_1, \dots, A_n$  величины инвестиций для соответствующих годов;

$t$  - число лет строительства,  $t=1, 2, \dots, n$ .

При детерминированных расчетах все значения берутся на основе одного прогноза или предположения.

Один из способов учета влияния рисков подготовительной и строительной стадии, основан на методе "дерева решений". Дерево решений имеет вид нагруженного графа, "вершины" его представляют ключевые состояния, в которых возникает необходимость выбора, а "ветви" - различные события, которые могут иметь место в ситуации, предопределенных "вершиной". Каждой исходящей ветви приписывают соответственно ее денежную и вероятностную оценки [2,3]. Схематически это выглядит следующим образом [5].

Обозначим этапы строительства через А, В, С, D.

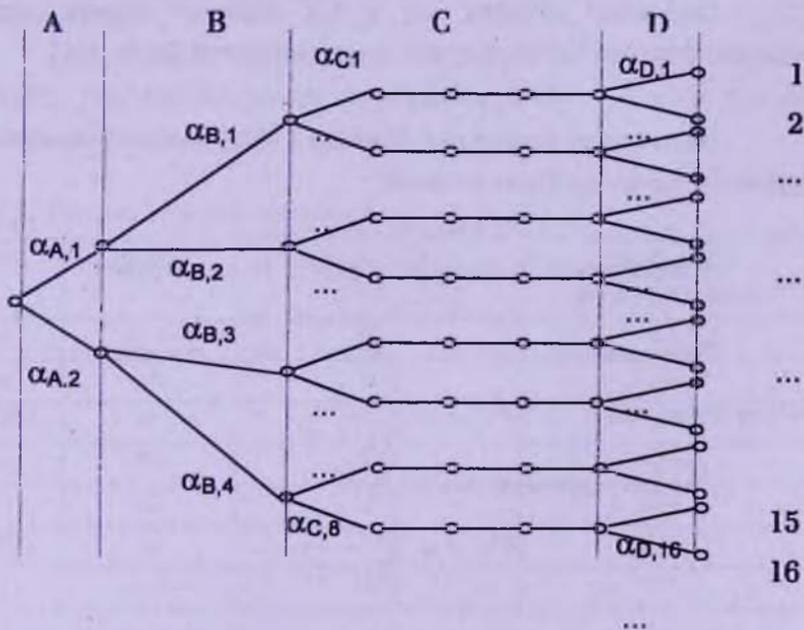


Рис.2 Схема расчета учитывающая риски.

Обозначим через  $\alpha_{i,j}$  вероятности возникновения события,

где  $i$  - этапы строительства A,B,C,D:

$n$  - число лет строительства,  $n=7$ ;

$j$ -число конечных положений системы  $j=1,2,\dots,k$ , в приведенном случае  $k=16$ .

Как видно из схемы, в конце строительства (четвертого этапа D) имеем 16 возможных положений системы, для каждого из которых рассчитывается приведенная сумма затрат на строительство, по формуле:

$$PV = \sum_{t=1}^n \frac{A_t}{(1+r)^t} \quad (1.1)$$

где PV- приведенная сумма затрат на строительство;

$r$  - норма дисконта;

Случайные события A,1 и A,2 образуют полную группу несовместимых событий, и сумма их вероятностей равна 1[4].

$$\alpha_{A,1} + \alpha_{A,2} = 1 \quad (1.2)$$

Вероятность появления ситуации 1 ( $\alpha_1$ ) равна произведению вероятностей предыдущих событий:

$$\alpha_1 = \alpha_{A,1} \cdot \alpha_{B,1} \cdot \alpha_{C,1} \cdot \alpha_{D,1} \quad (1.3)$$

А вероятность появления ситуации 16 ( $\alpha_{16}$ ) равна:

$$\alpha_{16} = \alpha_{A,2} \cdot \alpha_{B,4} \cdot \alpha_{C,8} \cdot \alpha_{D,16} \quad (1.4)$$

Приведенная сумма затрат на строительство  $PV_j$  определяется как:

$$PV_j = \alpha_j \sum_{t=1}^n \frac{A_t}{(1+r)^t} \quad (1.5)$$

Для последующих положений:

$$PV_j = \alpha_j \sum_{t=1}^n \frac{A_t}{(1+r)^t} \quad (1.6)$$

Таким образом, приведенная сумма затрат на строительство  $PV_{\text{сум}}$ , с учетом рисков подготовительной и строительной стадии, по формуле полной вероятности будет равна сумме всех  $PV_j$ :

$$PV_{\text{сум}} = \sum_{j=1}^k PV_j \quad (1.7)$$

Окончательное выражение принимает следующий вид:

$$PV_{\text{сум}} = \sum_{j=1}^k \left[ \alpha_j \left( \sum_{t=1}^n \frac{A_t}{(1+r)^t} \right)_j \right] \quad (1.8)$$

С помощью предложенной формулы (1.8) можно вычислить сумму инвестиций на строительство для различных прогнозов величин инвестиций для каждого этапа, и в результате получить значение в которой учитываются вероятные ситуации в течении строительства.

Предположим капиталная стоимость проекта 1200 млн. USD [6]. Продолжительность строительных работ - 7 лет и график годовых платежей показан в таблице 3.

Таб. 3. График годовых платежей.

| Год | Процент | млн. USD<br>(2000 г.) | млн. USD<br>(эскалационные)* |
|-----|---------|-----------------------|------------------------------|
| 1   | 3.4     | 40.8                  | 44.9                         |
| 2   | 16      | 192                   | 232.3                        |
| 3   | 19      | 228                   | 303.5                        |
| 4   | 26      | 312                   | 456.8                        |
| 5   | 22      | 264                   | 425.2                        |
| 6   | 10      | 120                   | 212.6                        |
| 7   | 3.6     | 43.2                  | 84.2                         |

\* Коэффициент дисконтирования принят 10%.

Следуя рис.2 первый этап предполагает два возможных путей развития событий. С вероятностью 0.8 затраты составят 44,9 млн. (событие А,1), а с вероятностью 0.2 –55 млн. (событие А,2). Второй этап предполагает четыре возможных путей развития событий, если имело место событие А,1, то с вероятностью 0.9 затраты составят 232,3 млн. (событие В,1), а с вероятностью 0.1 – 240 млн. (событие В,2). Если имело место событие А,2, то с вероятностью 0.9 затраты составят 245 млн. (событие В,3), а с вероятностью 0.1 –260 млн. (событие В,4), и т.д. Схема расчета капитальных затрат и расчет соответствующих вероятностей приведены в таблицах 4 и 5.

Таб. 4. Расчет капитальных затрат.

| j  | PV <sub>j</sub> | A <sub>1</sub> | A <sub>2</sub> | A <sub>3</sub> | A <sub>4</sub> | A <sub>5</sub> | A <sub>6</sub> | A <sub>7</sub> |
|----|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 1  | 1 200,0         | 44,9           | 232,3          | 303,5          | 456,8          | 425,2          | 212,6          | 84,2           |
| 2  | 1 203,0         | 44,9           | 232,3          | 303,5          | 456,8          | 425,2          | 212,6          | 90             |
| 3  | 1 211,3         | 44,9           | 232,3          | 315            | 457            | 427            | 215            | 84,2           |
| 4  | 1 214,2         | 44,9           | 232,3          | 315            | 457            | 427            | 215            | 90             |
| 5  | 1 215,7         | 44,9           | 240            | 305            | 460            | 429            | 219            | 84,2           |
| 6  | 1 218,7         | 44,9           | 240            | 305            | 460            | 429            | 219            | 90             |
| 7  | 1 230,2         | 44,9           | 240            | 315            | 465            | 432            | 222            | 84,2           |
| 8  | 1 233,2         | 44,9           | 240            | 315            | 465            | 432            | 222            | 90             |
| 9  | 1 245,2         | 55             | 245            | 308            | 470            | 435            | 225            | 84,2           |
| 10 | 1 248,2         | 55             | 245            | 308            | 470            | 435            | 225            | 90             |
| 11 | 1 263,0         | 55             | 245            | 320            | 475            | 440            | 229            | 84,2           |
| 12 | 1 266,0         | 55             | 245            | 320            | 475            | 440            | 229            | 90             |
| 13 | 1 287,4         | 55             | 260            | 325            | 480            | 445            | 232            | 84,2           |
| 14 | 1 290,3         | 55             | 260            | 325            | 480            | 445            | 232            | 90             |
| 15 | 1 306,2         | 55             | 260            | 330            | 495            | 450            | 235            | 84,2           |
| 16 | 1 309,2         | 55             | 260            | 330            | 495            | 450            | 235            | 90             |

Таб. 5. Расчет вероятностей.

| j  | $\alpha_j$ | $\alpha_{A,j}$ | $\alpha_{B,j}$ | $\alpha_{C,j}$ | $\alpha_4$ | $\alpha_5$ | $\alpha_6$ | $\alpha_{D,j}$ |
|----|------------|----------------|----------------|----------------|------------|------------|------------|----------------|
| 1  | 0.4536     | 0,8            | 0,9            | 0,7            | 1          | 1          | 1          | 0,9            |
| 2  | 0.0504     | 0,8            | 0,9            | 0,7            | 1          | 1          | 1          | 0,1            |
| 3  | 0.1944     | 0,8            | 0,9            | 0,3            | 1          | 1          | 1          | 0,9            |
| 4  | 0.0216     | 0,8            | 0,9            | 0,3            | 1          | 1          | 1          | 0,1            |
| 5  | 0.0504     | 0,8            | 0,1            | 0,7            | 1          | 1          | 1          | 0,9            |
| 6  | 0.0056     | 0,8            | 0,1            | 0,7            | 1          | 1          | 1          | 0,1            |
| 7  | 0.0216     | 0,8            | 0,1            | 0,3            | 1          | 1          | 1          | 0,9            |
| 8  | 0.0024     | 0,8            | 0,1            | 0,3            | 1          | 1          | 1          | 0,1            |
| 9  | 0.1134     | 0,2            | 0,9            | 0,7            | 1          | 1          | 1          | 0,9            |
| 10 | 0.0126     | 0,2            | 0,9            | 0,7            | 1          | 1          | 1          | 0,1            |
| 11 | 0.0486     | 0,2            | 0,9            | 0,3            | 1          | 1          | 1          | 0,9            |
| 12 | 0.0054     | 0,2            | 0,9            | 0,3            | 1          | 1          | 1          | 0,1            |
| 13 | 0.0126     | 0,2            | 0,1            | 0,7            | 1          | 1          | 1          | 0,9            |
| 14 | 0.0014     | 0,2            | 0,1            | 0,7            | 1          | 1          | 1          | 0,1            |
| 15 | 0.0054     | 0,2            | 0,1            | 0,3            | 1          | 1          | 1          | 0,9            |
| 16 | 0.0006     | 0,2            | 0,1            | 0,3            | 1          | 1          | 1          | 0,1            |

По формуле (1.8) получаем  $PV_{\text{сум}} = 1215.33$  млн. Как видно расчетная сумма приведенных затрат, учитывающая риски отличается от затрат при детерминированном расчете на 15,33 млн USD. Эта та сумма, которая должна обеспечить непрерывный процесс строительства и покрыть затраты связанные с колебаниями цен.

Таким образом приходим к следующим выводам:

Планирование строительства АЭС требует применение специальных методов позволяющих проводить оценку риска.

В связи с высоким уровнем риска инвестиционных проектов строительства АЭС, необходима тщательная разработка и строгое исполнение графика финансирования работ.

Метод "дерева решений" в сочетании с методом "экспертных оценок" является достаточно эффективным инструментом для вероятностной оценки плана строительства.

Предложенная методика в связи с неопределенностью значения вероятностей затрат по реализации отдельных этапов строительства может быть успешно осуществлена в среде стохастических методов оценки отклонения значения инвестиций.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Л.М. Воронин. Особенности проектирования и сооружения АЭС. /Москва, Атомиздат, 1980 г./
2. И.Я. Лукасевич. Анализ финансовых операций. /Москва, Финансы, 1998 г./
3. Ю. Блех, У. Гетце. Инвестиционные расчеты. /Калининград, Янтарный сказ, 1997 г./
4. Е.С. Вентцель. Теория Вероятностей. /Москва, 1964 г./
5. Р. Мурадян, В. Вардамян. Метод определения стоимости капитала с учетом риска. /Годичная научная конференция ГИУА, Том 2, 2000 г./
6. Предварительное технико-экономическое обоснование Кольской АЭС-2. -Инвестиционный план для электро-энергетики северо-западного региона России, 1998 г.