

## ВЫЯВЛЕНИЕ И ОЦЕНКА РИСКОВ ИННОВАЦИОННОГО ПРОЕКТА В ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ

Казиев А. В.

*ФГАОУ «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва, Россия (115409, Москва, Каширское шоссе, д. 31), avkaziev@gmail.com*

В настоящей работе представлен качественный анализ рисков инновационного проекта строительства первых девяти энергоблоков с реакторами БН-1200. Обозначены основные риски проекта. Проведены количественные оценки влияния факторов риска на основные экономические показатели проекта. Использованы методы анализа чувствительности, а также имитационное моделирование по алгоритму Монте-Карло. Выявлено, что наибольший вклад в неопределенность показателей проекта вносят тенденции изменения капитальных затрат как в сфере энергетики в целом, так и в области ядерной энергетики. Вторым важнейшим фактором является неопределенность затрат на создание топлива для реакторов на быстрых нейтронах, а также на сооружение соответствующих производственных мощностей. Полученные результаты позволяют сделать выводы о перспективности инновационного проекта создания энергоблоков с реакторами БН-1200 и выработать рекомендации по снижению негативных экономических эффектов, вызванных наличием факторов риска. Показано, в частности, что при неизменном тарифе на электроэнергию и при фиксированной ставке дисконтирования существенное влияние на экономические показатели проекта оказывает снижение сроков строительства энергоблоков.

Ключевые слова: ядерная энергетика, инновационный проект, реактор на быстрых нейтронах, БН-1200, качественный анализ рисков, количественный анализ рисков.

## RISK DETECTION AND ASSESSMENT OF THE INNOVATIVE PROJECT IN NUCLEAR ENERGY SECTOR

Kaziev A. V.

*FSAEI "National Research Nuclear University «MEPhI», Moscow, Russia (115409, Moscow, Kashirskoye shosse, 31), avkaziev@gmail.com*

The present contribution is devoted to the qualitative analysis of the risks of the innovative project of constructing the first line of nuclear plants consisting of nine BN-1200-type power reactors. The main risk factors of the project are denoted. The quantitative assessment of the risk factors influence on the basic economic indicators of the project is carried out. The main methods used for computations are sensitivity analysis and the Monte-Carlo simulation modeling. It was found that the trends observed in the time variations of the capital costs in energy sphere and particularly in the nuclear energy sector play the prevailing role in the uncertainty of the innovative project economic indicators. The second most important factor was found to be an uncertainty in the production costs of nuclear fuel for fast-neutron reactors as well as of the construction of the corresponding manufacturing enterprises. The results obtained allow author to make certain conclusions on the positive prospective of the innovative project of creating nuclear power plants based on BN-1200 reactors as well as to develop recommendations that would help in decreasing the negative economic effects caused by the presence of the risk factors. Particularly, it was shown that given the constant electric energy price and the discount rate fixed at certain value, the economic indicators of the project are strongly affected by the decrease of the construction time.

Key words: nuclear energy sector, innovative project, fast-neutron reactor, BN-1200, risk detection, risk assessment

### Введение

В настоящее время одной из приоритетных целей ОАО «Концерн Росэнергоатом» является завершение разработки энергоблока с реактором БН-1200 с началом строительства в 2015 г. и пуском его в эксплуатацию в 2020 г. [7]. 29 апреля 2013 г. в городе Заречном Свердловской области уже прошли общественные слушания по предварительному варианту материалов оценки воздействия на окружающую среду планируемого к размещению энергоблока № 5

Белоярской АЭС с реактором на быстрых нейтронах БН-1200. Разработка проекта БН-1200 является результатом эволюционного развития реакторов на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем. При этом ожидается, что капитальные затраты на сооружение такого реактора будут близки к затратам на сооружение равного по мощности ВВЭР, и будет обеспечена безопасность не хуже поколения 3+ [1, 2, 7]. При выполнении указанных условий реактор БН-1200 будет использован в качестве основы коммерческого промышленного энергокомплекса с пристанционным ядерным топливным циклом (ЯТЦ) или замыканием ЯТЦ на централизованном заводе. Это позволит осуществить промышленную реализацию комплексной ядерной энерготехнологии в соответствии с требованиями проекта «Прорыв». Разработка проекта финансируется из средств Федерального бюджета, предусмотренных в федеральной целевой программе (ФЦП) «Ядерные энерготехнологии нового поколения на период 2010–2015 гг. и на перспективу до 2020 г.», и софинансирования этой ФЦП ОАО «Концерн Росэнергоатом». Строительство будет осуществляться за счет средств, заложенных в инвестиционной программе долговременных действий Госкорпорации «Росатом» в соответствии с инвестиционной программой обеспечения дорожной карты развития ядерной энергетики. Реализация проекта станет важным шагом инновационного развития страны [8].

Ожидается, что на первом этапе замыкания ядерного топливного цикла капитальные затраты на создание производства МОКС-топлива для БН-1200 составят до 27 млрд руб., а затраты на создание производства по переработке МОКС-топлива для БН-1200 – 10 млрд руб. [4, 7].

Таким образом, проект создания первых коммерчески успешных ядерных электростанций с реакторами БН-типа сопряжен не только с непосредственным сооружением и пуском в эксплуатацию новых для рынка реакторов, что само по себе является сложной инновационной задачей, но также и с наращиванием высокотехнологичных производственных мощностей по снабжению этих реакторов необходимым топливом. Очевидно, что экономические показатели проекта подобного рода подвержены воздействию многих неопределенных факторов: как внешних, так и внутренних [6].

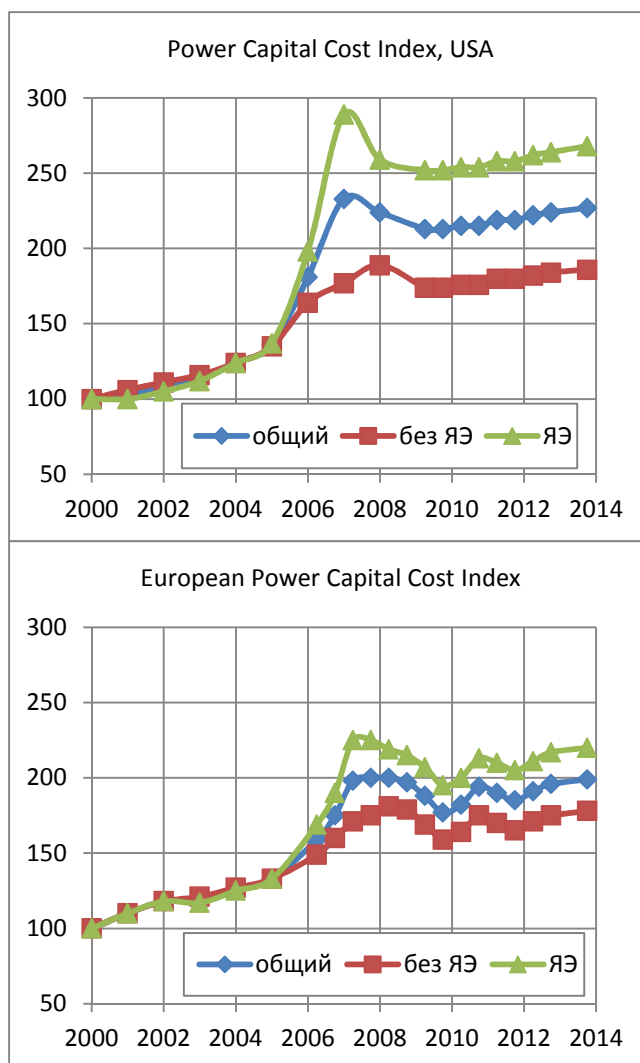
Целью настоящей работы является выявление и оценка рисков проекта создания и эксплуатации первой очереди российских коммерческих реакторов на быстрых нейтронах – БН-1200 – с учетом анализа вопросов, связанных с топливным обеспечением данного типа электростанций.

### **Основные риски проекта**

Экономические риски проекта сооружения атомной электростанции (АЭС) с реактором инновационного для рынка типа возникают как вследствие неопределенности внешних

макроэкономических факторов (в том числе, на уровне отрасли), так и из-за неточности прогнозирования стоимости реализации сопутствующих технологий.

Известно, что капитальные затраты на строительство электростанций всех существующих видов растут с течением времени. При этом в последние годы (2006–2013 гг.) наибольший рост приходится именно на сектор сооружения ядерных энергоблоков. Например, на рис. 1 приведены фактические зависимости индексов удельных капитальных затрат на сооружение электростанций в США и странах ЕС от времени. (Под индексом здесь понимается рост затрат в процентах относительно 2000 г.)



**Рис. 1. Индексы капитальных затрат на сооружение электростанций в США (слева) и в странах Европы (справа) (ЯЭ – ядерная энергетика) [10]**

Из рис. 1 видно, что в период с 2000 по 2013 г. как в США, так и в европейских странах капитальные затраты повысились в 2–2,3 раза, при этом зависимость от времени существенно немонотонна (см. область 2006–2010 гг.). Также следует отметить, что если рассматривать не усредненные по энергетике показатели, а только данные, отвечающие ядерной энергетической отрасли, то оказывается, что здесь рост капитальных затрат

достигает 2,2–2,7 раз. Ясно, что такое увеличение капитальной составляющей при наличии заметных колебаний представляет один из важнейших факторов экономического риска проекта сооружения АЭС с реактором БН-1200.

Вторым существенным не вполне определенным параметром является стоимость топлива для реактора на быстрых нейтронах, а также затраты на создание предприятий по его производству [4]. К тому же, существуют различные потенциальные варианты реализации топливного комплекса для реакторов на быстрых нейтронах. Оценка стоимости сооружения и запуска заводов по производству МОКС-топлива, его переработке, а также затрат на его приобретение анализируется в [3] на основании проведенных в России технико-экономических исследований (ТЭИ) по обоснованию замкнутого ядерного топливного цикла реакторов на быстрых нейтронах.

Для технико-экономического обоснования и сравнительных оценок технологий в секторе ядерной энергетики существуют методика UNIDO (отражает интересы инвестора), подход МАГАТЭ (ориентирован на потребителя) и концепция устойчивого развития. Международная методика UNIDO предназначена для оценки инвестиционных проектов, поэтому каждый проект в ней рассматривается на его жизненном цикле с помощью критериев эффективности инвестиций. Критерий МАГАТЭ оценивает общественную эффективность проекта и предполагает минимизацию тарифа на электроэнергию [9].

В работе [4] приводятся результаты оценок годовых эксплуатационных расходов для девяти блоков БН-1200 (рассматриваются различные технологические решения). Совокупные эксплуатационные затраты на пристанционные комплексы находятся в интервале 24–26,9 млрд руб. в зависимости от способа перехода к меньшей производительности заводов в пристанционном комплексе. Совокупные эксплуатационные затраты на централизованные заводы по водной переработке и таблеточной технологии в совокупности составляют 24,45 млрд руб.

Видно, что стоимостные показатели обеих технологий (пристанционные комплексы и централизованные заводы) переработки ОЯТ и технологий изготовления МОКС-топлива сопоставимы. Следует отметить, что при сравнении различных вариантов цикла необходимо включать затраты на транспортировку, хранение и обращение с отходами.

В работе [5] оценивается чувствительность сценариев развития всей ядерной энергетики России к изменениям основных экономических параметров, влияющих на ее структуру. Рассматриваются два сценария развития ядерной энергетики: базовый (предполагает выполнение ФЦП до 2020 г. с дальнейшим наращиванием установленной мощности ЯЭ до 100 ГВт к 2050 г.) и высокий (предполагает 170 ГВт (эл.) к 2050 году с учетом экспорта тепловых реакторов). В структуре учитывается история ввода и вывода реакторов РБМК и

ВВЭР. В сценарии ввод быстрых реакторов БН-800 осуществляется по одному блоку в 2013, 2018 и 2021 годах. В период 2018–2035 гг. в эксплуатацию вводятся девять энергоблоков с реакторами БН-1200. Анализ оценки устойчивости ядерной энергетики России к возможным изменениям экономического характера и ресурсного потенциала на примере модели минимизации ресурсов MESSAGE позволил авторам [5] сделать важные выводы относительно прогнозной структуры ядерного энергетического комплекса России. Так, например, авторами [5] рассчитано, что при повышении удельных капитальных затрат на строительство реактора БН-1200 на 20 % доля реакторов на быстрых нейтронах в структуре ядерной энергетики к 2050 г. оказывается слишком малой, чтобы говорить о необходимости развития таких дорогих технологий. С другой стороны, увеличение стоимости переработки и хранения облученного ядерного топлива приводит к повышению доли коммерческих реакторов БН-типа в структуре ядерной энергетики к середине века.

### **Оценка рисков проекта**

Принимая во внимание известные результаты отраслевого моделирования, в настоящей работе акцент делается на более подробном рассмотрении только экономических аспектов последовательного сооружения и эксплуатации девяти энергоблоков с реакторами БН-1200 с учетом вопросов обеспечения необходимого производства топлива (структура ядерного энергетического комплекса в целом не анализируется). Расчеты проводились с помощью пакета Project Expert 7. Использовались методы анализа чувствительности и моделирование по алгоритму Монте-Карло.

Анализ чувствительности проводился для определения изменения показателей эффективности проекта в зависимости от вариации неопределенных факторов, таких как затраты на строительство энергоблока, расходы на топливо и создание предприятия по его производству, тариф на электроэнергию и др.

Моделирование по алгоритму Монте-Карло позволило выявить диапазон разброса значений чистого дисконтированного дохода (*NPV*) при одновременной случайной вариации нескольких факторов риска.

Основные исходные характеристики модели проекта, а также диапазоны, в которых варьировались значения параметров, обуславливающих риски, приведены в табл. 1.

*Таблица 1. Исходные данные модели*

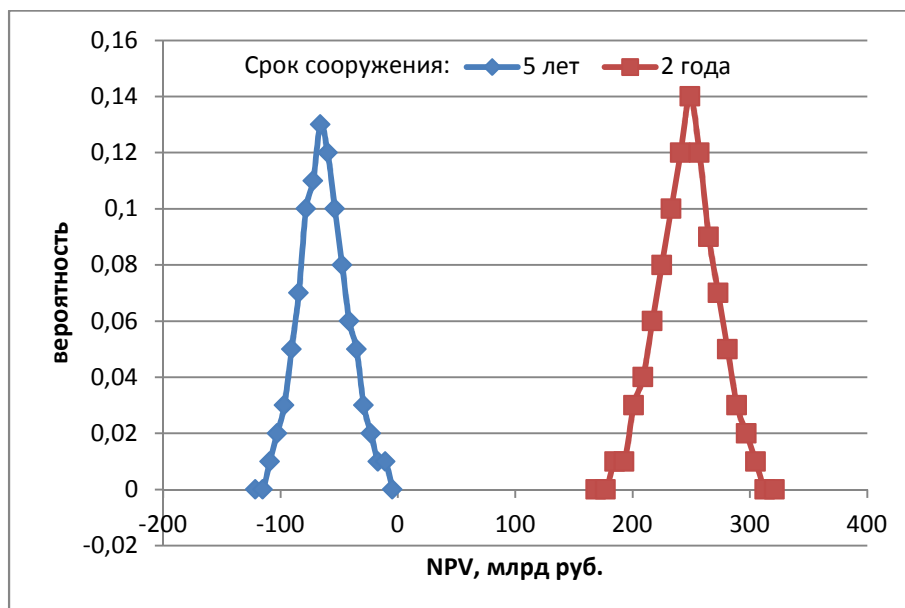
№	Параметр	Значения
1	Количество энергоблоков с БН-1200	9
2	Электрическая мощность одного блока, МВт	1225
3	Коэффициент использования установленной мощности, %	90
4	Затраты на строительство одного энергоблока, млрд руб.	120(±50 %)

5	Затраты на создание предприятия по производству топлива, млрд руб.	30(±50 %)
6	Эксплуатационные расходы, млрд руб./год	1(±50 %)
7	Расходы на МОКС-топливо, млрд руб./год	30(±50 %)
8	Ставка дисконтирования, %	0–20
9	Тариф на электроэнергию, руб./кВт·ч	1,8(±50 %)
10	Время строительства одного энергоблока, лет	2–5
11	Длительность всего проекта, лет	60

В рамках анализа чувствительности, выполненного при вариации ставки дисконтирования, затрат на строительство, тарифа на электроэнергию и эксплуатационных расходов с учетом топливной составляющей в пределах, указанных в табл. 1, получены соответствующие зависимости  $NPV$  проекта для различных сроков строительства. Результаты свидетельствуют о том, что при сокращении сроков строительства электростанций повышается устойчивость проекта к изменениям многих внешних параметров, в частности, ставки дисконтирования и эксплуатационных расходов (включая топливо). Так, к примеру, при времени строительства энергоблока  $T_c = 2$  года, чувствительность  $NPV$  к изменению затрат на топливо на 13 % ниже, чем при  $T_c = 5$  лет, а абсолютное значение  $NPV$  при нулевой вариации выше на 300 млрд руб. Это объясняется известным эффектом дисконтирования в модели приведенных затрат [9].

В случае рассмотрения капитальных затрат чувствительность, наоборот, немного увеличивается, т. к. растут затраты, приходящиеся на начальные годы, однако на конец проекта  $NPV$  возрастает на 400 млрд руб. из-за влияния эффекта дисконтирования.

На рис. 2 показан результат расчета по алгоритму Монте-Карло при одновременном случайном разбросе величин капитальных и эксплуатационных затрат в интервале  $\pm 10\%$ .



**Рис. 2. Расчет NPV проекта по методу Монте-Карло (разброс величин капитальных и эксплуатационных затрат в интервале  $\pm 10\%$ ; тариф 1,8 руб/кВт·ч)**

Из рис. 2 видно, что при сокращении сроков строительства существенно повышается NPV проекта. Если применять критерий МАГАТЭ, предполагающий, что  $NPV = 0$  к концу жизненного цикла электростанции, то ясно, что в такой ситуации может быть заметно снижен тариф на электроэнергию, т. е. ее себестоимость. Однако стоит отметить, что в данной модели не учитывается стоимость вывода АЭС из эксплуатации.

Наличие единственного выраженного пика распределения для каждого случая на рис. 2 позволяет сделать более конкретный вывод о масштабе риска. Несмотря на значительное повышение NPV проекта, разброс значений остается достаточно большим и составляет  $\sim 50\%$  для случая  $T_c = 2$  года. Подобная неопределенность характерна для долгосрочных инновационных проектов такого масштаба.

Снижение времени строительства и удельных капитальных затрат может быть достигнуто по мере совершенствования технологии, унификации проекта, а также за счет фактора серийности. Так, по мере сооружения нескольких однотипных энергоблоков могут быть постепенно сокращены проектные сроки.

### **Заключение**

Проведена оценка влияния наиболее значимых неопределенных факторов на экономические показатели проекта сооружения пилотной серии АЭС с энергоблоками БН-1200, которые должны стать первыми коммерческими реакторами такого типа. Проведенная оценка рисков позволяет сделать выводы об устойчивости проекта и сформулировать условия, при которых возможна минимизация рисков. Основной вклад в риски проекта вносят повышение капитальных затрат и высокая неопределенная стоимость производства МОКС-топлива. Снижение сроков строительства за счет последовательной унификации и наличия фактора серийности позволят существенно улучшить экономические показатели проекта.

### **Список литературы**

1. Адамов Е. О. ЗЯТЦ с реакторами естественной безопасности // Атомэкспо 2012: сб. мат. IV Междунар. форума (4–6 июня 2012 г.). – М., 2012.
2. Бахметьев А. М., Васильев Б. А., Кузавков Н. Г. БН-1200 как установка IV поколения // Атомэкспо 2009: сб. мат. I Междунар. форума (26–28 мая 2009 г.). – М., 2009.
3. Грачева М. В., Ляпина С. Ю. Управление рисками в инновационной деятельности: учеб. для вузов. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2010. – 351 с.

4. Демидова Л. С., Лукьянова Я. М. Анализ результатов технико-экономических исследований вариантов ЗЯТЦ с реакторами типа БН // Радиохимия и радиохимическая технология: прошлое, настоящее, будущее: сб. ст. Всерос. конф. (Москва, 24 мая 2012 г.). – М., 2012. – С. 28–38.
5. Егоров А. Ф., Коробейников В. В., Поплавская Е. В., Фесенко Г. А. Оценка чувствительности модели развития ядерной энергетики России к возможным изменениям выбранных экономических параметров // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2012. – № 3. – С. 53–61.
6. Корниец Т. П., Аликова О. П. Управление рисками в атомной энергетике как основа обеспечения энергетической безопасности России // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. – 2012. – № 22. – С. 37–47.
7. Сараев О. М. Перспективы развития и внедрения замкнутого топливного цикла // Безопасность, эффективность и экономика атомной энергетики: сб. тр. VIII Междунар. конф. (Москва, 23–25 мая 2012 г.). – М., 2012. – С. 102–107.
8. Тупчиенко В. А. Международные сопоставления развития науки и инноваций // Экономический анализ: теория и практика. – 2011. – № 5. – С. 8–15.
9. Экономико-аналитические модели динамики развития ядерной энергетики: монография / НИЯУ МИФИ; [под ред. Харитонов В. В.]. – М.: НИЯУ МИФИ, 2012. – 76 с.
10. The IHS CERA Power Capital Costs Index: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <http://www.ihs.com/info/cera/ihsindexes/index.aspx> (дата обращения: 20.04.2013).

#### **Рецензенты:**

Тупчиенко Виталий Алексеевич, доктор экономических наук, профессор, профессор кафедры управления бизнес-проектами, Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ», г. Москва.

Путилов Александр Валентинович, доктор технических наук, профессор, декан факультета управления и экономики высоких технологий, Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ», г. Москва.