



НАУКА  
И ИННОВАЦИИ  
РОСАТОМ

# ОБОСНОВАНИЕ ЭКСПОРТНОГО ПОТЕНЦИАЛА ТЕХНОЛОГИИ БН

## АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОТЧЕТ

Государственная корпорация по атомной энергии «Росатом»  
частное учреждение «Наука и инновации»  
Центр аналитических исследований и разработок



РЕТРОСПЕКТИВА  
ТЕХНОЛОГИИ БЫСТРЫХ  
НАТРИЕВЫХ РЕАКТОРОВ  
В МИРЕ

---

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ  
ПРОГРАММ РАЗВИТИЯ  
РЕАКТОРОВ ТИПА БН

---

ЭКСПОРТНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ  
ТЕХНОЛОГИИ БН

---

ЭКСПОРТ УСЛУГ  
НА ОСНОВЕ ВНУТРЕННЕГО  
ПАРКА РЕАКТОРОВ БН

---

Государственная корпорация по атомной энергии «Росатом»  
частное учреждение «Наука и инновации»  
Центр аналитических исследований и разработок

# ОБОСНОВАНИЕ ЭКСПОРТНОГО ПОТЕНЦИАЛА ТЕХНОЛОГИИ БН

Москва  
2020

УДК 621.039

ББК 31.4

О 22

О 22            Обоснование экспортного потенциала технологии БН. Аналитический отчет [Текст] / И.Б. Журавлёв, С.А. Квятковский, А.П. Крупнова, П.Б. Птицын ; М. : ЦАИР, частное учреждение «Наука и инновации», 2020. – 96 с. – Рус. – Деп. 18.05.20, № 31-В2020.

© ЦАИР, частное учреждение «Наука и инновации», 2020

Подписано в печать 21.12.2020. Формат 60x84 1/8. Бумага мелованная.  
Гарнитура «Rosatom». Печать офсетная. Усл. печ. л. 11,16.  
Тираж 100 экз. Заказ № 7261.

Отпечатано в ООО «Элефант»:  
610040, г. Киров, ул. Мостовая, д. 32/7,  
[www.hibox.pro](http://www.hibox.pro)

**НАЗВАНИЕ РАБОТЫ:**

Обоснование экспортного потенциала технологии БН

**АВТОРЫ:**

**Журавлёв И.Б.**, руководитель группы приоритетных направлений НТР, частное учреждение «Наука и инновации», Центр аналитических исследований и разработок;

**Квятковский С.А.**, аналитик отдела ЯТЦ, частное учреждение «Наука и инновации», Центр аналитических исследований и разработок;

**Крупнова А.П.**, главный специалист группы по НТС, частное учреждение «Наука и инновации», Центр аналитических исследований и разработок;

**Птицын П.Б.**, заместитель директора – директор Отраслевого Центра аналитических исследований и разработок, частное учреждение «Наука и инновации».

**РЕЦЕНЗЕНТЫ:**

**Барышников М.В.**, директор Департамента по инновациям и технологиям, АО «Техснабэкспорт»;

**Марова Е.В.**, начальник бюро, АО «ОКБМ Африкантов»;

**Гулевич А.В.**, заместитель директора Отделения ядерной энергетики по физике реакторов, АО «ГНЦ РФ – ФЭИ»;

**Чебесков А.Н.**, главный научный сотрудник, АО «ГНЦ РФ – ФЭИ».

**РЕФЕРАТ:**

В аналитическом исследовании рассмотрены экспортные возможности технологии БН как в части сооружения энергоблоков с реакторами БН-1200 для зарубежных заказчиков, так и в области оказания услуг на основе внутреннего парка быстрых натриевых реакторов. Проведенный анализ показал, что экспорт реакторов БН будет связан с определенными правовыми, техническими и экономическими ограничениями, зависящими от страны-заказчика энергоблока. Вместе с этим уникальность технологии реакторов БН позволяет существенно расширить экспортный потенциал отрасли в случае практической реализации двухкомпонентной ЯЭС и ЗЯТЦ за счет оказания услуг для зарубежных ВВЭР, предоставления услуг по обращению с делящимися материалами инозаказчика (прежде всего в части обращения с энергетическим плутонием), снижения объемов и уровня активности РАО, а также за счет наработки широкого спектра радиоизотопов для промышленного и медицинского применения. Имеются определенные перспективы развития технологии быстрых натриевых реакторов в области АСММ.

Аналитический отчет подготовлен в рамках Плана деятельности Отраслевого центра аналитических исследований и разработок (ЦАИР) на 2019–2020 гг. (п. 4.6).

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:**

атомная энергетика, быстрые реакторы, БН-1200, БН-800, БН ГТ-300, ядерный топливный цикл, экспорт ядерных реакторов, обращение с плутонием, наработка изотопов.

**TITLE:**

Feasibility study on the export capabilities of BN technology

**AUTHORS:**

**Zhuravlev I.B., Kvyatkovskiy S.A., Krupnova A.P., Ptitsyn P.B.** Rosatom Center for Analytical Research and Developments (CARD), Science and Innovations – Nuclear Industry Scientific Development, Private Enterprise, State Atomic Energy Corporation Rosatom.

**ABSTRACT:**

The analytical study examines the export capabilities of the BN technology both in terms of the construction of power units with BN-1200 reactors for foreign customers and for the provision of services based on a national fleet of fast sodium reactors. The analysis showed that the export of power unit with BN reactors is not perspective and will require solving a number of legal, technical and economic restrictions varying according to the country of the customer. At the same time, the uniqueness of the BN reactors technology can significantly expand the export potential of the national nuclear industry in the case of the practical implementation of a two-component nuclear energy system and a closed nuclear fuel cycle. It would allow to provide services for foreign VVERs in terms of reducing the volume and level of radioactive waste, providing services for foreign fissile materials (primarily in terms of handling energy plutonium), as well as producing a wide range of radioisotopes for industrial and medical applications. There are certain prospects for the application of BN technology in the area of small modular reactors.

This report was prepared as a part of the Rosatom Center for Analytical Research and Developments Action Plan for 2019–2020.

**KEY WORDS:**

nuclear energy, fast nuclear reactors, BN-1200, BN-800, nuclear fuel cycle, export of nuclear reactors, plutonium handling, isotopes production.

# СОДЕРЖАНИЕ

---

<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	5
<b>1. ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ И СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ЯДЕРНЫХ РЕАКТОРОВ С БЫСТРЫМ СПЕКТРОМ НЕЙТРОНОВ И НАТРИЕВЫМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕМ</b> .....	7
1.1. Исследовательские программы в области быстрых ядерных реакторов с натриевым теплоносителем в мире.....	8
1.2. Исследовательские программы в области быстрых ядерных реакторов с натриевым теплоносителем в СССР.....	16
1.3. Энергетические ядерные реакторы типа БН в России и мире.....	17
1.4. Современные программы развития ЯЭ на основе реакторов типа БН.....	27
1.4.1. Обзор программ развития ЯЭ с реакторами типа БН в странах мира.....	27
1.4.2. Технология реакторов типа БН в международных проектах.....	32
1.4.3. Международный центр исследований на базе реактора МБИР.....	33
1.5. Выводы.....	34
<b>2. ЭКСПОРТНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ЭНЕРГОБЛОКОВ С РЕАКТОРАМИ БН</b> .....	37
2.1. Вопросы экспорта реакторов БН, требующие решения.....	38
2.1.1. Правовые.....	38
2.1.2. Экономические.....	41
2.1.3. Технические.....	44
2.2. Потенциальная доля реакторов БН на будущем мировом рынке энергоблоков большой мощности.....	44
2.3. Выводы.....	49
<b>3. ЭКСПОРТ УСЛУГ НА ОСНОВЕ ВНУТРЕННЕГО ПАРКА БЫСТРЫХ РЕАКТОРОВ</b> .....	51
3.1. «Продуктовое предложение» по рециклированию ядерных материалов зарубежных заказчиков.....	51
3.1.1. «Утилизация» зарубежного плутония.....	51
3.1.2. «Облагораживание» изотопного состава Pu.....	55
3.1.3. Утилизация МА.....	63
3.2. Увеличение экспортного потенциала технологии ВВЭР.....	71
3.3. Нарботка изотопной продукции.....	73
3.4. Выводы.....	76
<b>4. ЭКСПОРТНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ АСММ С РЕАКТОРОМ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ БН</b> .....	79
4.1. Проекты АСММ с натриевым теплоносителем.....	82
4.2. Выводы.....	83
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ</b> .....	85
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ</b> .....	88
<b>ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ</b> .....	92
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ А</b> .....	93



## ВВЕДЕНИЕ

---

В настоящее время все больше стран рассматривают ЯЭ как основу будущей безуглеродной и устойчивой энергетики. Мировое ядерное сообщество вновь пришло к пониманию, что оптимальное развитие ЯЭ возможно лишь на основе быстрых реакторов и замкнутого ЯТЦ. Быстрые реакторы теперь рассматриваются не только как возможность расширения ресурсной базы для ЯЭ, но и как возможность решения проблемы накопления ОЯТ. Технология быстрых реакторов позволяет обеспечить неограниченность ресурсной базы за счет вовлечения в топливный цикл  $^{238}\text{U}$  и  $^{232}\text{Th}$ , организацию самообеспечения реакторов делящимися материалами или их расширенное воспроизводство, утилизацию избыточного плутония и выжигание минорных актинидов, накопленных в ОЯТ тепловых реакторов. В зарубежных исследованиях [1] по многокритериальной оценке и сравнению технологий быстрые реакторы имеют лучшие показатели в таких областях, как землепользование, водопотребление и выбросы  $\text{CO}_2$  в атмосферу при производстве оборудования, сооружении, эксплуатации и выводе из эксплуатации. Использование отработанного или рециклированного  $^{238}\text{U}$  и наработанного Pu обеспечивает снижение чувствительности топливной компоненты LCOE к стоимости урана на международном рынке.

Россия на данный момент является единственной страной, обладающей энергетическими быстрыми реакторами. Отечественная технология быстрых натриевых реакторов успешно продемонстрирована на примере эксплуатируемых БН-600 и БН-800. Это стало возможным благодаря успешной реализации всех этапов, необходимых для освоения технологии БН, что потребовало затрат значительных финансовых и людских ресурсов. Только затраты СССР на программу разработки и демонстрации быстрых натриевых реакторов оцениваются в 12 млрд \$ [2], затраты всех стран, входящих в ОЭСР, оцениваются в размере 60 млрд \$ [3] на 2016 г., что свидетельствует о значительной проработке технологии быстрых натриевых реакторов. Однако лишь небольшая часть стран способна на создание парка ядерных реакторов, достаточного для возврата этих инвестиций в разумные сроки [2].

Принятая программа развития ядерной энергетики России рассматривает создание двухкомпонентной системы на основе быстрых и тепловых реакторов, работающих в замкнутом топливном цикле, которая должна стать базой для безуглеродной национальной энергетики, способствовать высокотехнологичному экспорту АЭС и услуг на рынке ядерных технологий, решать экологические проблемы [4]. Именно технология реакторов БН, как наиболее близкая к коммерческой реализации, способна обеспечить комплексное выполнение задачи повышения конкурентоспособности и расширения экспорта как в области сооружения энергоблоков для зарубежных заказчиков, так и в области оказания услуг на начальной и конечной стадиях ЯТЦ. В настоящем анализе рассматриваются возможные способы повышения и реализации потенциала международного бизнеса Госкорпорации «Росатом» при использовании технологии БН.

С полными версиями аналитических отчетов отраслевого Центра аналитических исследований и разработок можно ознакомиться на следующих ресурсах:

1. Портал отраслевого Центра аналитических исследований и разработок (доступ осуществляется через внутреннюю сеть КСПД Росатома)



2. Раздел отраслевого Центра аналитических исследований и разработок на портале «Страна Росатом» (доступ осуществляется через внутреннюю сеть КСПД Росатома)

