



НАУКА  
И ИННОВАЦИИ  
РОСАТОМ

# АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОТЧЕТ

**ТЕХНИЧЕСКИЕ И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ ЯДЕРНЫХ РЕАКТОРОВ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ  
ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ  
И ПРИКЛАДНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**



**СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ  
РЕАКТОРОВ (ИР) В МИРЕ  
И РОССИИ**

**ИР ДЛЯ АТОМНОЙ  
ЭНЕРГЕТИКИ И  
ПРИКЛАДНЫХ  
ПРИМЕНЕНИЙ**

**СТОИМОСТЬ СОЗДАНИЯ  
И ЭКСПЛУАТАЦИИ ИР**

**БУДУЩЕЕ ИР**

Москва  
2021

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

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

# ТЕХНИЧЕСКИЕ И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ ЯДЕРНЫХ РЕАКТОРОВ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ И ПРИКЛАДНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Москва  
2021

УДК 621.039.553

ББК 31.4

Т 38

Т 38 Технические и экономические аспекты использования исследовательских ядерных реакторов для обеспечения инновационного развития атомной энергетики и прикладных исследований. / Архангельский Н.В., Птицын П.Б.; М.: ЦАИР, частное учреждение «Наука и инновации», 2021. – 106 с.

ISBN 978-5-498-00802-8

© ЦАИР, частное учреждение «Наука и инновации», 2021

Подписано в печать 20.08.2021. Формат 60x84 1/8. Бумага мелованная.  
Гарнитура «Rosatom». Печать офсетная. Усл. печ. л. 12,32.  
Тираж 150 экз. Заказ № 6296.

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

**НАЗВАНИЕ РАБОТЫ:**

Технические и экономические аспекты использования исследовательских ядерных реакторов для обеспечения инновационного развития атомной энергетики и прикладных исследований.

**АВТОРЫ:**

**Архангельский Н.В.**, Аналитик группы ПНТР Центра аналитических исследований и разработок частного учреждения «Наука и инновации», кандидат технических наук.

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

**РЕЦЕНЗЕНТЫ:**

**Павшук В.А.**, Руководитель Отделения НИЦ «Курчатовский институт», кандидат технических наук.

**Петелин А.Л.**, Начальник отделения «Реакторный исследовательский комплекс» АО «ГНЦ НИИАР».

**РЕФЕРАТ:**

Отчет посвящен описанию современного состояния и перспективам исследовательских реакторов в России и мире. Приведены данные по сопоставительному анализу развития атомной энергетики и исследовательских реакторов. Проанализированы направления использования исследовательских реакторов для различных применений, в частности для исследований в области атомной энергетики и прикладных задач. Экспериментальные возможности реакторов сопоставлены с экономическими оценками стоимости создания и эксплуатации реакторов. Сформулированы перспективные направления использования действующих и создаваемых исследовательских реакторов. В заключение рассмотрено значение исследовательских реакторов для развития двухкомпонентной ядерной энергетики.

Аналитический отчет подготовлен в рамках Плана деятельности отраслевого Центра аналитических исследований и разработок (ЦАИР) на 2019–2020 гг. (п. 4.13).

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:**

исследовательские реакторы, атомная энергетика, реакторное материаловедение, радиоизотопы, экономика исследовательских реакторов, новые проекты.

**ЦИТИРОВАНИЕ:** Технические и экономические аспекты использования исследовательских ядерных реакторов для обеспечения инновационного развития атомной энергетики и прикладных исследований. / Архангельский Н.В., Птицын П.Б.; М.: ЦАИР, частное учреждение «Наука и инновации», 2021. – 116 с. – Рус. – Деп. 21.05.21, № 31-В2021.

**TITLE:**

Technical and economic aspects of nuclear research reactors utilisation for the innovative development of nuclear energy and applied research.

**AUTHORS:**

**Arkhangelskiy N.V., Ptitsyn P.B.**, Centre of Analytical R&D (CARD), Private Enterprise «Science and Innovations», State Atomic Energy Corporation Rosatom.

**REVIEWERS:**

**Pavshuk V.A.**, National Research Center «Kurchatov Institute».

**Petelin A.L.**, JSC RIAR.

**ABSTRACT:**

The report describes the current status and prospects of research reactors in Russia and in the world. The data on the comparative analysis of the development of nuclear power and research reactors are presented. The directions of research reactors utilisation for various applications, in particular, for research in the field of nuclear energy and applied problems are analyzed. The experimental capabilities of the reactors are compared with the economic estimations of capital and operating costs of reactors. The promising directions for the use of existing and new research reactors are formulated. In conclusion, the importance of research reactors for the development of two-component nuclear power is considered.

This report was prepared as a part of the Action Plan for 2019–2020 of the Centre of Analytical R&D (CARD).

**KEY WORDS:**

research reactors, nuclear power, reactor material science, radioisotopes, economy of research reactors, new projects.

# СОДЕРЖАНИЕ

---

|  |     |
|--|-----|
| <b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....  | 5   |
| <b>1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РЕАКТОРОВ В МИРЕ И РОССИИ</b> .....  | 9   |
| 1.1. Исследовательские реакторы как источник нейтронов для исследований .....  | 9   |
| 1.2. Ситуация в мире .....   | 11  |
| 1.3. Ситуация в России .....   | 16  |
| <b>2. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РЕАКТОРОВ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАЗВИТИЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ</b> .....                      | 23  |
| 2.1. Требования к исследовательским реакторам для материаловедческих исследований .....                                    | 32  |
| 2.2. Материаловедческие реакторы с петлевыми каналами .....  | 37  |
| <b>3. ПРИКЛАДНЫЕ ПРИМЕНЕНИЯ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РЕАКТОРОВ</b> .....  | 49  |
| <b>4. ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СОЗДАНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РЕАКТОРОВ</b> .....                                  | 55  |
| <b>5. ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДЕЙСТВУЮЩИХ И СОЗДАНИЯ НОВЫХ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РЕАКТОРОВ В РОССИИ И ЗА РУБЕЖОМ</b> .....   | 65  |
| 5.1. Россия .....  | 65  |
| 5.2. Зарубежные страны .....   | 73  |
| 5.2.1. Развитые страны .....   | 73  |
| 5.2.2. Развивающиеся страны .....  | 83  |
| <b>6. ЗНАЧЕНИЕ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РЕАКТОРОВ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ СТРАТЕГИИ РАЗВИТИЯ ДВУХКОМПОНЕНТНОЙ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ</b> ..... | 89  |
| <b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ</b> .....  | 93  |
| <b>СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ</b> .....  | 96  |
| <b>ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ</b> .....   | 103 |



## ВВЕДЕНИЕ

---

Открытие нейтрона в 1932 г. дало в руки ученых новые, исключительно эффективные возможности для исследований. Сначала нейтроны получались в изотопных источниках, потом стали использоваться ускорители с мишенями-размножителями. Однако по-настоящему мощные источники нейтронов появились только с созданием ядерных реакторов деления.

Исследовательские ядерные реакторы (или просто исследовательские реакторы) оказались наиболее универсальными и удобными мощными источниками нейтронов.

Ядерные установки для получения нейтронов в исследовательских целях образовали особую группу установок, называемых исследовательскими реакторами (ИР). ИР получили самое широкое распространение в мире. Многие страны, начиная от стран с развитой ядерной инфраструктурой и до так называемых «стран-новичков»<sup>1</sup>, используют ИР для самых разных применений, среди которых фундаментальные исследования по ядерной физике и физике конденсированного состояния вещества, реакторное материаловедение и прикладные работы.

Мировой опыт ясно показывает, что наиболее естественный путь становления национальной ядерной науки и технологии в стране лежит через

---

<sup>1</sup> Под странами-новичками в данном отчете понимаются страны, в которых ранее не работали исследовательские ядерные установки, т.е. установки, в которых осуществляется цепная ядерная реакция деления.

создание, освоение и экспериментальное использование ИР. Подготовка национальных кадров и создание школ инженеров и ученых проходили в значительной степени на базе таких установок, которые стали и остаются ключевыми экспериментальными установками многих центров ядерных исследований. Именно кадры, подготовленные в ядерных центрах на ИР, формировали впоследствии национальные программы в области ядерной энергетики.

Универсальность ИР и широкий спектр нейтронов в них способствовали тому, что реакторы сравнительно легко могли перенастраиваться на решение новых задач. Оказалось, например, что именно ИР – наиболее удобный источник нейтронов для наработки радиоизотопов. То, что в начале работы этих установок казалось одной из многих научных задач, стало в настоящее время важнейшей прикладной программой, реализуемой на большинстве ИР. Это дало новую жизнь многим установкам, продолжение эксплуатации которых стало необходимым в первую очередь именно для этих работ.

Во всем мире и в России в частности было создано и эксплуатируется в настоящее время много ИР различного типа. Больше того, некоторые страны, отчетливо видя позитивный вклад этих установок в науку и технику, имеют планы по созданию первых ИР в стране или строительству новых там, где они уже работают.

Создание и эксплуатация ИР требуют привлечения значительных финансовых ресурсов. Капитальные расходы на создание мощных ИР составляют сотни миллионов и даже миллиарды долларов, а эксплуатация таких реакторов обходится в несколько миллионов и даже десятков миллионов долларов в год. Это заставляет тщательно подходить к принятию решений о создании реактора и продолжении его эксплуатации при изменении спектра задач и круга потенциальных пользователей.

ИР пережили периоды создания, бурного развития и спада. Сейчас они находятся на определенном распутье. Можно увидеть противоречивые тенденции в развитии, и многое будет зависеть от планов и темпов развития атомной энергетики, задачи которой в значительной степени определяют перспективы ИР.

Новый импульс активности в области ИР придают исследования, обеспечивающие развитие двухкомпонентной ядерной энергетики, основанной на сочетании реакторов на тепловых и быстрых нейтронах и замыкании ядерного топливного цикла. Эта концепция предполагает разработку и реализацию инновационных реакторных проектов, испытание материалов для которых потребует проведения масштабных об-

лучательных экспериментов в ИР. Для этих исследований обязательно будет необходимо проведение экспериментов в условиях высокой плотности потока быстрых нейтронов, что возможно только в мощных ИР на быстрых нейтронах, создание которых уже начато или предполагается.

Деятельность в области ИР почти всегда, так или иначе, была связана с политическими аспектами, как, впрочем, и вообще история ядерных технологий. Это имело место с самого начала их создания и, безусловно, будет продолжаться впредь. Некоторые моменты этого подхода нашли отражение в отчете. Интересно отметить, что несмотря на различия в научной, экономической и политической ситуациях в России и мире, общие тенденции в развитии и использовании ИР оказывались весьма схожими. Может быть, потому, что нейтроны оказываются одинаковыми в различных социально-экономических условиях.

Надо сделать одно важное замечание по содержанию отчета. В СССР/России было построено много импульсных ИР в федеральных ядерных центрах – ВНИИЭФ и ВНИИТФ. Эти реакторы использовались для исследований в специальных целях, и до начала 90-х годов информация о них была очень ограниченной. Позднее появилось много публикаций об этих реакторах, они стали использоваться и для проведения исследований в атомной энергетике. Однако описание конструкции и направлений использования этих реакторов не входит в задачи данного отчета, и с ними можно ознакомиться в работе [1].

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 сеть КСПД Росатома)



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

