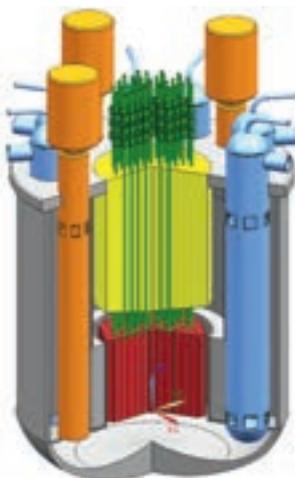
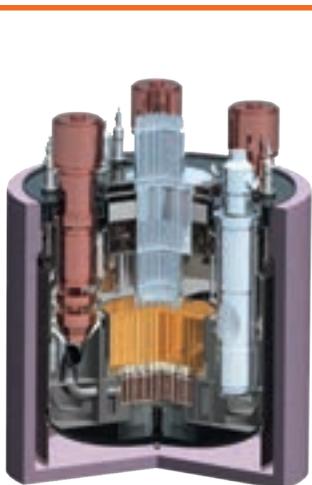




НАУКА
И ИННОВАЦИИ
РОСАТОМ

АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОТЧЕТ

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ РЕАКТОРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
В МЕЖДУНАРОДНОМ ФОРУМЕ «ПОКОЛЕНИЕ IV»



РЕТРОСПЕКТИВА РАЗВИТИЯ
И ТЕКУЩАЯ СТРУКТУРА
МЕЖДУНАРОДНОГО ФОРУМА
«ПОКОЛЕНИЕ IV»

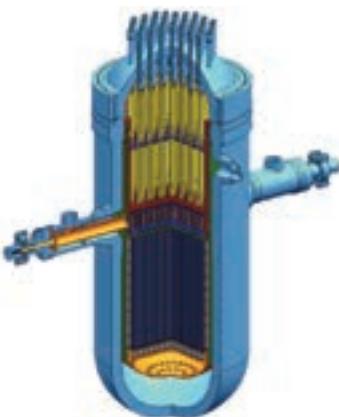
ОСОБЕННОСТИ РЕАКТОРНЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ ПОКОЛЕНИЯ IV
И РЕАЛИЗУЕМЫЕ ПРОЕКТЫ
РЕАКТОРОВ

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ
БАЗА ДЛЯ РАЗРАБОТКИ
РЕАКТОРОВ ПОКОЛЕНИЯ IV

КАЧЕСТВЕННАЯ
ОЦЕНКА И СРАВНЕНИЕ
РЕАКТОРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

НАЦИОНАЛЬНЫЕ ПРОГРАММЫ
РАЗВИТИЯ РЕАКТОРНЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ ПОКОЛЕНИЯ IV
И ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ
С МЕЖДУНАРОДНЫМИ
ОРГАНИЗАЦИЯМИ

GEN IV International
Forum™



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

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ РЕАКТОРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МЕЖДУНАРОДНОМ ФОРУМЕ «ПОКОЛЕНИЕ IV»

Москва
2023

УДК 621.311

ББК 31.4

П 27

П 27 Перспективные реакторные технологии в Международном форуме «Поколение IV». Аналитический отчет / Архангельский Н.В., Квятковский С.А., Птицын П.Б., Сафиканов Д.И. – М.: ЦАИР, частное учреждение «Наука и инновации», 2023. – 192 с.

ISBN 978-5-498-00999-5

© ЦАИР, частное учреждение «Наука и инновации», 2023

Подписано в печать 31.08.2023. Формат 60x84 1/8. Бумага мелованная.

Гарнитура Rosatom. Печать офсетная. Усл. печ. л. 22,32.

Тираж 150 экз. Заказ № 8851.

Отпечатано в ООО «Элефант»:

610004, г. Киров, ул. Ленина, зд. 26,

www.hibox.pro

НАЗВАНИЕ РАБОТЫ:

Перспективные реакторные технологии в международном форуме «Поколение IV».

АВТОРЫ:

Архангельский Н.В., к.т.н., аналитик Группы приоритетных направлений научно-технологического развития отраслевого Центра аналитических исследований и разработок частного учреждения «Наука и инновации».

Квятковский С.А., аналитик Отдела ядерного топливного цикла отраслевого Центра аналитических исследований и разработок частного учреждения «Наука и инновации».

Птицын П.Б., заместитель директора – директор отраслевого Центра аналитических исследований и разработок частного учреждения «Наука и инновации».

Сафиканов Д.И., аналитик Отдела ядерного топливного цикла отраслевого Центра аналитических исследований и разработок частного учреждения «Наука и инновации».

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

Патаракин О.О., департамент научно-технических программ и проектов, Госкорпорация «Росатом».

Усанов В.И., АО «ГНЦ РФ-ФЭИ».

РЕФЕРАТ:

Отчет содержит ретроспективный анализ развития Международного форума «Поколение IV» (МФП) и анализ изменения подходов к взаимодействию стран-участниц МФП между собой. Рассмотрены особенности шести реакторных технологий, отобранных в рамках МФП в качестве перспективных, и проведен анализ уровней развития каждой из технологий на основе действующих и разрабатываемых в настоящее время проектов реакторов, относимых к поколению 4. Представлена информация об имеющейся отечественной и зарубежной экспериментальной базе, задействованной для обоснования проектных решений по технологиям поколения 4, а также рассмотрены государственные и международные программы поддержки НИОКР и создания первых образцов реакторов поколения 4.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

ядерные реакторы, поколение 4, БН, БР, ВТГР, ЖСР, газовый быстрый реактор, ВВЭР-СКД, экспериментальная база.

TITLE:

Promising reactor technologies in the International Forum «Generation IV».

AUTHORS:

Arkhangelskiy N.V., Kviatkovskii S.A., Ptitsyn P.B., Safikanov D.I. Centre for Analytical R&D (CARD), Private Enterprise «Science and Innovations», State Atomic Energy Corporation Rosatom, Moscow, Russian Federation.

REVIEWERS:

Patarakin O.O., State Atomic Energy Corporation Rosatom.

Usanov V.I., IPPE JSC, State Atomic Energy Corporation Rosatom

ABSTRACT:

The report contains a retrospective analysis of the «Generation IV» International Forum (GIF) evolution and an analysis of the collaboration changing between GIF member countries. The features of six reactor technologies selected as promising within the GIF framework are considered. Carried out the analysis of the reactor technologies readiness level, based on current status of reactors projects development in the world. Information about the available domestic and foreign experimental base for substantiate design solutions for generation 4 technologies is presented, as well as the information about national and international programs to support R&D and deployment of the first-of-a-kind generation 4 reactors.

KEYWORDS:

nuclear reactors, Generation IV, GIF, SFR, LFR, VHTR, MSR, GFR, SCWR, experimental base.

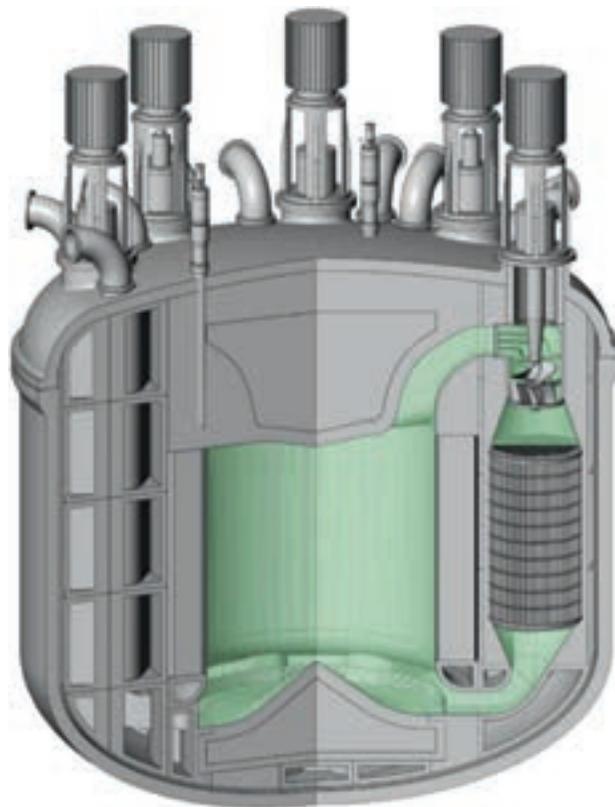
СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	7
1. ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ МЕЖДУНАРОДНОГО ФОРУМА «ПОКОЛЕНИЕ IV»	9
1.1. Ретроспектива	9
1.2. Дорожная карта МФП.....	19
1.3. Текущая структура организации	24
1.4. Краткие выводы.....	27
2. РЕАКТОРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МЕЖДУНАРОДНОМ ФОРУМЕ «ПОКОЛЕНИЕ IV» И РЕАЛИЗУЕМЫЕ ПРОЕКТЫ РЕАКТОРОВ В СТРАНАХ-УЧАСТНИКАХ	29
2.1. Особенности рассматриваемых реакторных технологий	29
2.1.1. Быстрый натриевый реактор (Sodium Fast Reactor, SFR).....	29
2.1.2. Высокотемпературный газовый реактор (Very High Temperature Reactor, VHTR).....	32
2.1.3. Реактор на быстрых нейтронах со свинцовым теплоносителем (Lead Fast Reactor, LFR)	35
2.1.4. Водоохлаждаемый реактор со сверхкритическими параметрами теплоносителя (Super Critical Water Reactor, SCWR).....	37
2.1.5. Реактор с газовым теплоносителем и быстрым спектром нейтронов (Gas Fast Reactor, GFR).....	40
2.1.6. Жидкосолевой реактор (Molten Salt Reactor, MSR).....	44
2.2. Реализуемые проекты реакторов поколения 4	49
2.2.1. Реализуемые проекты реакторов типа SFR.....	49
2.2.2. Реализуемые проекты реакторов типа VHTR.....	67
2.2.3. Реализуемые проекты реакторов типа LFR.....	79
2.2.4. Разрабатываемые проекты реакторов типа SCWR.....	102
2.2.5. Разрабатываемые проекты реакторов типа GFR	111
2.2.6. Реализуемые проекты реакторов типа MSR	115
2.3. Наличие экспериментальной базы для развития реакторных технологий поколения 4	130
2.4. Оценка и сравнение преимуществ и недостатков рассматриваемых технологий	138
2.5. Краткие выводы.....	145
3. НАЦИОНАЛЬНЫЕ ПРОГРАММЫ И ПРОВОДИМЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СТРАН-УЧАСТНИЦ ПО РАЗВИТИЮ РЕАКТОРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПОКОЛЕНИЯ 4	147
3.1. Национальные программы и проводимые исследования	147
3.2. Краткие выводы.....	164

4. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ МЕЖДУНАРОДНОГО ФОРУМА «ПОКОЛЕНИЕ IV» С МЕЖДУНАРОДНЫМИ ПРОЕКТАМИ	165
4.1. Взаимодействие с международными проектами	165
4.2. Краткие выводы	171
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	173
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	176
ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ	187



Модель реактора БРЕСТ-ОД-300



Модель реактора MCFR



ВВЕДЕНИЕ

Международный форум «Поколение IV» (Generation IV International Forum, GIF) был основан в 2000 году в рамках инициативы Управления ядерной энергии, науки и технологий Министерства энергетики США, направленной на проведение совместно с другими странами исследований, необходимых для обоснования характеристик и осуществимости ядерных реакторных систем поколения 4, а также для доведения их технологической готовности до уровня, достаточного для промышленного внедрения к 2030 году.

Основываясь на этих целях, около 100 экспертов провели оценку 130 концепций реакторов, из которых было отобрано лишь шесть реакторных технологий для дальнейших исследований и разработок в рамках Международного форума «Поколение IV» (МФП). В число отобранных технологий вошли: быстрый реактор с натриевым теплоносителем (SFR), высокотемпературный реактор с газовым теплоносителем (VHTR), реактор на быстрых нейтронах со свинцовым теплоносителем (LFR), водоохлаждаемый реактор со сверхкритическими параметрами теплоносителя (SCWR), реактор на быстрых нейтронах с газовым теплоносителем (GFR) и реактор на расплавах солей (MSR).

В настоящее время главная цель МФП сформулирована как разработка одной или нескольких концепций систем поколения 4, которые могут в последующем быть лицензированы, построены и введены в эксплуатацию для обеспечения надежных поставок электроэнергии в страну или страны по

конкурентоспособным ценам и при удовлетворительном решении проблем ядерной безопасности, обращения с РАО, нераспространения и общественной приемлемости.

В этой связи представляется интересным провести как анализ изменений в подходах к международному сотрудничеству в рамках МФП, произошедших за более чем 20 лет его функционирования, так и анализ изменения уровня готовности самих технологий реакторов поколения 4, реализуемых национальных программ и перспектив внедрения реакторов в странах мира.

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)

