



АКМЭ
Атомный Комплекс
для Малой и средней
Энергетики

СВИНЦОВО-ВИСМУТОВЫЕ РЕАКТОРЫ:

история создания и перспективы развития

**по материалам статьи, опубликованной в журнале
Известия вузов. Ядерная энергетика №4 2021 и №1 2022**

В.М. Троянов, Г.И. Тошинский, В.С. Степанов, В.В. Петроченко

АО ГНЦ РФ-ФЭИ, АО КБ «ГИДРОПРЕСС», АО «АКМЭ-инжиниринг»

Круглый стол ЯОР, Обнинск, 13.10.2022



А.И. Лейпунский с учениками первого призыва

1 История создания реакторов с СВТ

1.1 Причины выбора в качестве теплоносителя

эвтектического сплава свинец-висмут

1.1.1 Очень высокая температура кипения ~ 1670 °С.

1.1.2 Химическая инертность теплоносителя

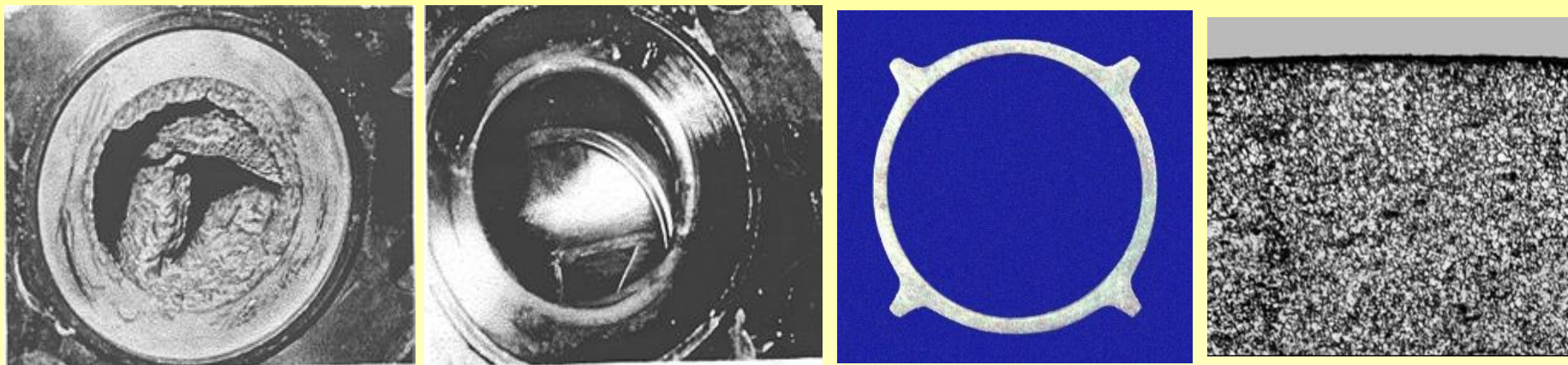
1.1.3 Низкий коэффициент объемного расширения СВТ

1.1.4 Невысокая температура плавления СВТ (~123,5 °С)

1.1.5 Отсутствие изменения объёма при плавлении/затвердевании.

1.2 Основные научно-технические проблемы, решенные в ходе освоения РУ с СВТ

1.2.1 Технология свинцово-висмутового теплоносителя



Слева, до очистки, справа после очистки
(водородная очистка трубопровода
насосного стенда в 1980 году.

Отсутствие коррозии стали ЭП-823Ш
(оболочка твэла) после испытаний в
СВТ при 600 °С в течение 50000 часов.

1.2.2 Двойственная роль кислорода

1.2.3 Обеспечение радиационной безопасности при работах, связанных с загрязнением воздуха и поверхностей оборудования полонием-210

1.2.4 «Замораживание-размораживание» СВТ в РУ

1.2.5 Обеспечение высокой надёжности парогенераторов (ПГ)

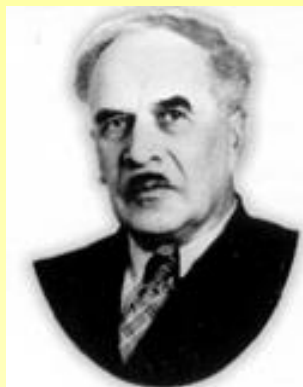
1.3 Краткий анализ имевших место аварий

1.4 Трудности базового обслуживания РУ АПЛ

1.5 Основные итоги эксплуатации РУ с СВТ



А.И. Лейпунский
(ГНЦ РФ-ФЭИ)
Научный
руководитель РУ



Б.М. Шолкович
(ОКБ “Гидропресс”)
Главный конструктор
РУ



А.К. Назаров
(СПМБМ “Малахит”)
Главный конструктор
АПЛ



И.И. Гуляев
(ВМФ)
Первый командир АПЛ

АПЛ с ЖМТ 1-го поколения проекта 645 К-27 и ее создатели



**А.С. Пушкин
(ВМФ)**

**Первый командир
АПЛ проекта 705, К-64**



**А.У. Аббасов
(ВМФ)**

**Первый командир
АПЛ проекта 705К, К-123**



**Б.Ф. Громов
(ГНЦ РФ-ФЭИ)**

Научный руководитель РУ



**В.В. Стекольников
(ОКБ “Гидропресс”)**

**Главный конструктор
РУ АПЛ проекта 705К**



**Ф.М. Митенков
(ОКБМ Африкантов)**

**Главный конструктор
РУ АПЛ проекта 705**



**М.Г. Русанов
(СПМБМ “Малахит”)**

**Главный конструктор
АПЛ проектов 705/705К**

АПЛ с ЖМТ проектов 705 и 705К и ее создатели

•2 Перспективы развития реакторов с СВТ в гражданской ЯЭ

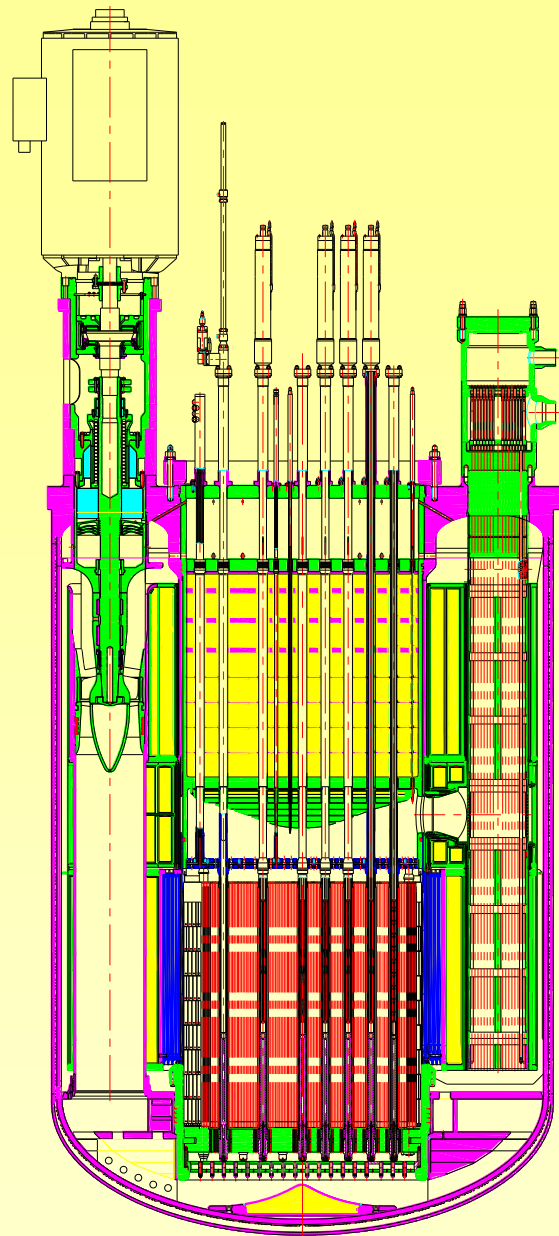
•2.1. Начало работ

•Важные для направления СВБР решения состоялись в 2006 году, когда к руководству Федерального агентства по атомной энергии пришла новая команда. Научно-технический совет № 1 рекомендовал направить работы на создание опытно-промышленного энергоблока, и в 2008 году, когда генеральный директор Госкорпорации «Росатом» С.В. Кириенко и О.В. Дерипаска подписали Протокол о государственно-частном партнерстве, о совместном развитии базовой технологии СВБР. Этим событиям предшествовало письмо академиков Г.И. Марчука и В.И. Субботина, направленное в конце 2005 года Президенту РФ В.В. Путину о необходимости поддержки этой уникальной технологии.

Позднее, совместным решением С.В. Кириенко и О.В. Дерипаски, для реализации этой технологии было образовано государственно-частное предприятие АО «АКМЭ-инжиниринг».

2.2 Основные положения концепции РУ СВБР-100

1. Конструкция РУ должна быть моноблочного типа.
2. Габариты основного элемента РУ, – реакторного моноблока должны обеспечивать возможность его транспортировки в сборе с внутрикорпусными устройствами с машиностроительного завода на площадку АЭС железнодорожным транспортом.
3. Применение реактора на быстрых нейтронах, позволяющего обеспечить воспроизводство топлива и эффективное сжигание младших актинидов.
4. РУ без изменения конструкции должна обеспечивать возможность работы с использованием различных видов топлива и в различных топливных циклах с выполнением нормативных требований по безопасности.
5. Должны быть детерминистически исключены тяжелые аварии, требующие эвакуации населения.
6. При использовании МОКС-топлива должен быть обеспечен коэффициент воспроизводства активной зоны (КВА), слегка превышающий единицу, что в замкнутом ЯТЦ позволит работать в режиме топливного самообеспечения.
7. РУ должна быть пригодна для экспортных поставок, в том числе, и в развивающиеся страны.



Реактор СВБР-100



Ведущие разработчики РУ СВБР-100

- **2.3 Обоснование выбора уровня мощности**
- **2.4 Топливный цикл и потребление природного урана**
- **2.5 Обеспечение безопасности**
- **2.5.1 Внутренняя самозащитённость**
- **2.5.1.1 Самозащитённость реактора от аварий типа LOCA**
- **2.5.1.2 Совместимость теплоносителя с рабочим телом второго контура и с топливом**
- **2.5.1.3 Самозащитённость реактора от аварий типа LOHS, ULOHS**
- **2.5.1.4 Самозащитённость от реактивностных аварий и аварий типа УТОР**
- **2.5.1.5 Самозащитённость от аварий типа ULOF**
- **2.5.1.6 Самозащитённость от аварий с течью трубок ПГ (SGTR)**
- **2.5.1.7 Самозащитённость от несанкционированного «замораживания» СВТ в РУ**

2.5.2 Барьеры глубоко эшелонированной защиты

2.5.3 Радиоэкологическая безопасность

2.5.5 Детерминистическое исключение тяжелых аварий

2.6 Удовлетворение основным требованиям к инновационным ядерным энергетическим системам IV-го поколения

2.7 Концепция коммерциализации

2.8 Текущий статус проекта и направления развития

2.8.1 Состояние проекта

2.8.2 Основные направления дальнейшего совершенствования проекта

Заключение (1)

1. В процессе разработки и эксплуатации реакторов с СВТ на АПЛ была освоена в промышленном масштабе уникальная ядерная технология. **На основе критически проанализированного опыта эксплуатации ведется разработка проекта РУ гражданского назначения (СВБР-100), модульного типа, удовлетворяющей требованиям Generation IV.**
2. РУ СВБР-100 может работать в замкнутом ЯТЦ в режиме топливного самообеспечения. Она не позволяет получить короткое время удвоения плутония, как в освоенных БР с натриевым теплоносителем, но благодаря природным свойствам СВТ может обеспечить более высокий уровень безопасности и позволяет улучшить технико-экономические показатели.
3. РУ СВБР-100, может работать без изменения конструкции на различных видах топлива в различных топливных циклах, обеспечивая постепенный экономически обоснованный переход к замкнутому ЯТЦ при соответствующем возрастании стоимости природного урана и затрат на хранение ОЯТ тепловых реакторов.

Заключение (2)

4. РУ СВБР-100, как и другие РУ с ТЖМТ, имеет наименьший запас потенциальной энергии, аккумулированной в теплоносителе, что позволяет исключить причины и смягчить последствия тяжелых аварий. РУ такого типа обеспечивают их повышенную устойчивость и в случаях умышленных злонамеренных действий, включая диверсионные акты.

5. Модульная структура ЯППУ энергоблока создает возможность перехода на прогрессивные технологии типового проектирования энергоблоков различной мощности на базе серийно изготавливаемых в заводских условиях «стандартных» реакторных модулей и поточные методы выполнения строительного-монтажных работ

6. Консервативный подход, принятый при разработке РУ для опытно-промышленного энергоблока (ОПЭБ), predetermined высокий потенциал дальнейшего совершенствования РУ (переход на перегретый пар и др.).

Заключение (3)

8. РУ с СВБР-100, как и другие инновационные реакторы, требуют этапа своего освоения, включая получение реального опыта эксплуатации в составе ОПЭБ. После получения необходимого опыта РУ СВБР-100 могут быть использованы: для создания модульных АЭС малой и средней мощности, работающих в локальных или региональных энергосистемах в режиме следования за нагрузкой и вырабатывающих наряду с электрической энергией тепловую энергию, позволяющих замещать угольные ТЭС, являющиеся основными загрязнителями окружающей среды. Широкого внедрения таких реакторов в ЯЭ можно ожидать после подтверждения ТЭХ на ОПЭБ на горизонте 2035 года.

БЛАГОДАРЮ ЗА ВНИМАНИЕ