



ФЭИ
РОСАТОМ

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ РЕАКТОРОВ С ТЕПЛОНОСИТЕЛЕМ СВИНЕЦ-ВИСМУТ НА АТОМНЫХ ПОДВОДНЫХ ЛОДКАХ И ПЕРСПЕКТИВЫ ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ГРАЖДАНСКОЙ ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ В СЕКТОРЕ АСММ

Тошинский Георгий Ильич

Д.т.н., проф., советник генерального директора АО «ГНЦ РФ-ФЭИ»

**33-я ежегодная научно-историческая конференция отечественного Ядерного общества
«Атомная энергетика на море», Обнинск, 18 декабря 2023 года**

1 Общая характеристика опыта эксплуатации РУ с СВТ (1)

1.1 Всего было построено 8 АПЛ и два полномасштабных стенда-прототипа ЯЭУ с СВТ:

стенд 27/ВТ (во второй кампании - 27/ВТ-5) и КМ-1.

1.2 Весь период эксплуатации с 1960 по 1996 год четко разделяется на два этапа:

этап освоения, проходивший в условиях **отсутствия необходимых знаний и опыта и сжатых директивных сроков создания** АПЛ, сопровождавшийся рядом аварий, и этап надежной эксплуатации серийных АПЛ.

На этапе освоения две опытные АПЛ (К-27 и К-64) в результате аварий были досрочно выведены из состава ВМФ.

На головной АПЛ К-123 РУ в период заводского ремонта РУ была заменена на новую, заранее изготовленную, в связи с неустранимым заводским браком.

1 Общая характеристика опыта эксплуатации РУ с СВТ (2)

1.3 **В ходе освоения** реакторной технологии был решен ряд важных научно-технических проблем, в том числе:

- Проблема обеспечения необходимого качества СВТ и коррозионной стойкости конструкционных материалов;
- Проблема обеспечения радиационной безопасности (полоний-210);
- Проблема работоспособности парогенераторов (ПГ);
- Проблема сохранения работоспособности оборудования при замораживании/размораживании СВТ.

1. Опыт использования свинцово-висмутового теплоносителя (3)

Первая опытная АПЛ К-27 (проект 645)



А.К. Назаров
(СПМБМ «Малахит»)
Главный конструктор
АПЛ



Б.М. Шолкович
(ОКБ «Гидропресс»)
Главный конструктор
ППУ



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



И.И. Гуляев
(ВМФ)
Первый командир
АПЛ

1. Опыт использования свинцово-висмутового теплоносителя (4)

АПЛ с ЖМТ проектов 705 и 705К



А.С. Пушкин
Первый
командир
АПЛ 705



А.У.Аббасов
Первый
командир
АПЛ 705К



М.Г. Русанов
(СПМБМ «Малахит»)
Главный конструктор
АПЛ 705, 705К



В.В. Стекольников
(ОКБ «Гидропресс»)
Главный конструктор
ПШУ БМ-40/А, АПЛ
705К



Ф.М. Митенков
(ОКБМ)
Главный конструктор
ПШУ ОК-550, АПЛ
705



Б.Ф. Громов
(ГНЦ РФ-ФЭИ)
Научный
руководитель ПШУ

1 Общая характеристика опыта эксплуатации РУ с СВТ (5)



АПЛ проекта 705 на испытаниях

1 Общая характеристика опыта эксплуатации РУ с СВТ (6)



АПЛ проекта 705 в базе

1 Общая характеристика опыта эксплуатации РУ с СВТ (7)



На борту АПЛ К-123 с командиром дивизиона движения Б.И. Изнюком

1. Опыт использования свинцово-висмутового теплоносителя (8)

Распечатка фрагмента ленты бортового регистратора событий при скоростных испытаниях.



Расшифровка данных:

Дата: 07 ноября 1977 года (60 лет СССР).

Время по Гринвичу: 22 часа, 54 минуты, 03 секунды.

Скорость: 42,39 узла (около 78,5 км/час).

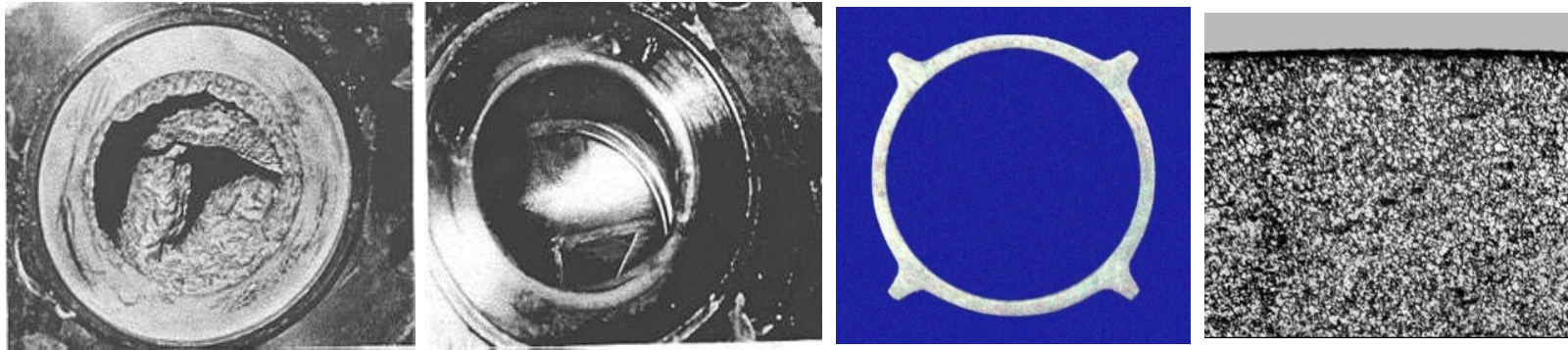
Глубина: 106 метров.

Надпись командира БЧ-5 В.М. Савенкова:

«На память о стойкости и совместных трудностях» 25.11.77 г.

1. Опыт использования свинцово-висмутового теплоносителя (9)

Результаты работ по очистке контура и коррозионным испытаниям



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

Ни на одной реакторной установке не было отказов оборудования или аварий, причиной которых была бы коррозия сталей в СВТ.
Не было также аварий или отказов, вызванных отложениями шлаков, после внедрения водородной очистки.

1. Опыт использования свинцово-висмутového теплоносителя (10)



Оценка накопленного опыта (1)

1.1 Межведомственная группа экспертов под руководством академика РАН

А.А. Саркисова, провела анализ опыта эксплуатации РУ АПЛ проектов 705, 705К, стенда КМ-1 и выполненных на тот момент проработок ОКБ «ГИДРОПРЕСС» по РУ с ЖМТ нового поколения.

В Заключении экспертной группы «опыт эксплуатации РУ с ЖМТ проектов 705 и 705К признан положительным. Аварии и инциденты имели место в начальный период их эксплуатации, что было характерно и для ЯЭУ с ВВР».

«Решения, заложенные в проекты перспективных РУ с ЖМТ, разрабатываемых в настоящее время, позволяют исключить недостатки РУ с ЖМТ первого поколения». Сделан вывод о необходимости конкурсной разработки ЯЭУ для перспективных АПЛ с учётом возможного применения РУ с ЖМТ.

1. Опыт использования свинцово-висмутового теплоносителя (11)



Оценка накопленного опыта (2)

1.2 Объективную оценку опыта эксплуатации АПЛ даёт в своей книге **академик Ф.М.Митенков** («Размышления о пережитом», Москва, ИздАТ, 2004, стр.57.

Из серии Творцы ядерного века) –

«...успешная в целом эксплуатация серийных подводных лодок выявила такие существенные недостатки, как значительно более сложные условия поддержания подводной лодки в межпоходовый период на базе, по сравнению с ЯЭУ на воде, а также повышенная шумность.

Но следует иметь в виду, что пути преодоления отмеченных недостатков достаточно понятны».

1. Опыт использования свинцово-висмутОВОГО теплоносителя (12)



Оценка накопленного опыта (3)

1.3 Норман Полмар, советник правительства США, так оценивает эти АПЛ:

«Я могу поздравить тех, кто разработал и создал «Альфу» (классификация НАТО).

Они опередили всех на Западе на 20-25 лет. **Сожалею, что нет больше лодок этого проекта, но как гражданин США и военно-морской специалист, я радуюсь, что их нет, так как эти подводные лодки представляли серьёзную угрозу для ВМС США».**

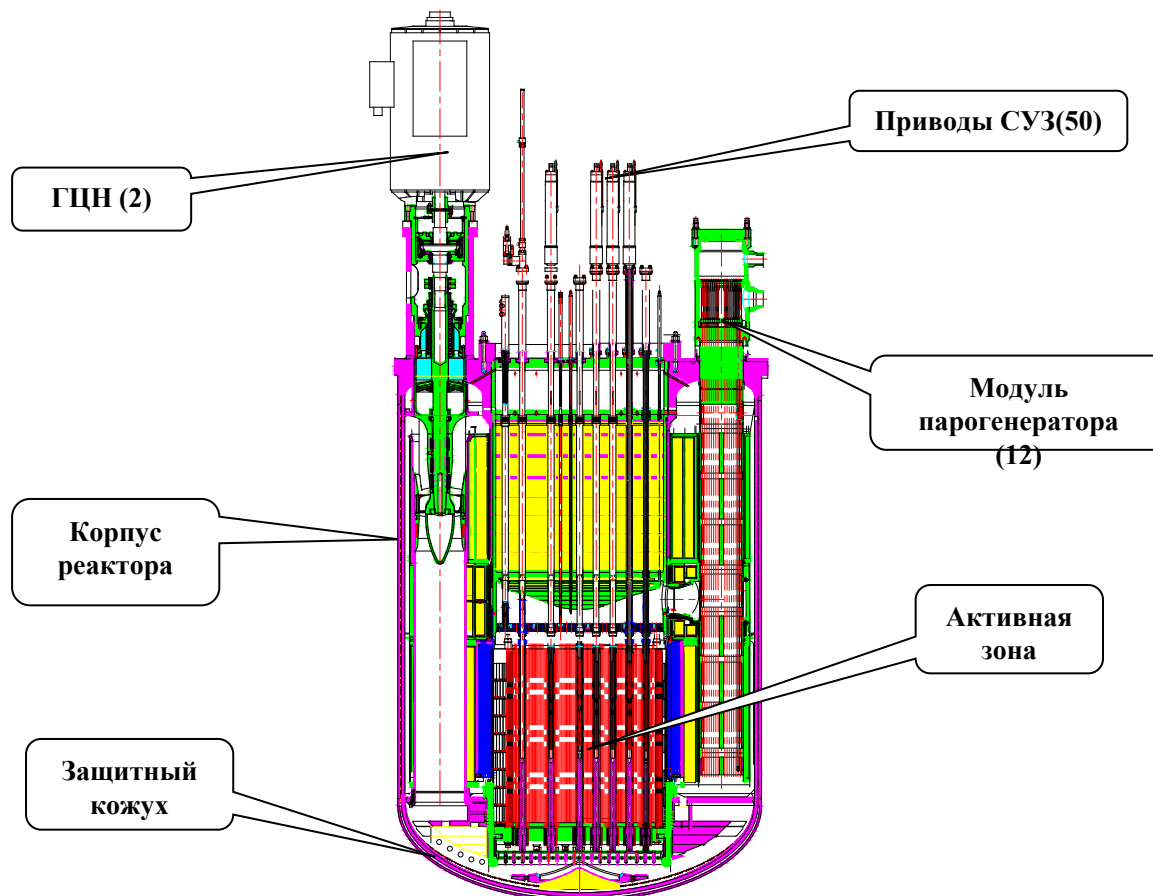
Его мнение подтверждает Геннадий ДРОЖЖИН, капитан 1-го ранга, член президиума Объединённого Совета ветеранов-подводников:

«**Все до единой эти чудо-лодки были уничтожены, не прослужив и половины своего срока, а при их модернизации с целью уменьшения шумности и при оснащении новым гидроакустическим комплексом, они и сегодня стали бы безусловными «убийцами» ПЛАРБ США и их авианосцев**».

Заключение

- 1 В условиях РУ АПЛ освоена уникальная в мире реакторная ТЖМТ-технология.**
- 2 На первом этапе имели место трудности и аварии. Это неизбежная плата за прогресс, характерная и для ВВЭР, и для БН, также как и для авиации и ракетной техники.**
Причины аварий точно установлены и устранены.
- 3 В более чем в 10 странах мира на основе собственных исследований, прежде всего, коррозии, подтвердивших наши методы обеспечения коррозионной стойкости сталей и очистки от шлаков, развернуты НИОКР по ТЖМТ свинец-висмут и свинец (50 на 50). Реакторы с ТЖМТ отнесены к проектам IV поколения .**

2.Перспективы использования СВТ в гражданской ЯЭ (1)



Реакторный модуль СВБР-100

2.Перспективы использования СВТ в гражданской ЯЭ (2)



Основные положения концепции реактора СВБР-100 (1)

- ◆ Использование быстрых реакторов (БР) с тяжелым жидкометаллическим теплоносителем позволяет **исключить конфликт между требованиями экономики и требованиями безопасности**, присущий реакторам традиционного типа, благодаря природным свойствам ТЖМТ:
очень высокая температура кипения (низкое давление в первом контуре) и химическая инертность по отношению к воздуху и воде.
- ◆ Такие реакторы **не позволяют нарабатывать избыточный плутоний с высоким темпом**, **однако создают предпосылки сделать БР более безопасными и дешёвыми и начать их коммерческое внедрение в секторе АСММ в среднесрочной перспективе.**

2.Перспективы использования СВТ в гражданской ЯЭ (3)



Основные положения концепции реактора СВБР-100 (2)

Внутренняя самозащищенность и пассивная безопасность

- ◆ Основа безопасности СВБР – **быстрый спектр нейтронов, ТЖМТ и интегральная компоновка** с исключением трубопроводов с радиоактивным теплоносителем за пределами моноблока.
- ◆ Реактор обладает **отрицательным пустотным эффектом реактивности** и отрицательными обратными связями, максимальный «вес» поглощающего стержня не превышает 0,5 \$. В дополнение к СУЗ, эти характеристики исключают разгон реактора на мгновенных нейтронах.
- ◆ Высокая температура кипения теплоносителя (1670 °С) обеспечивает надежный теплосъем в активной зоне и безопасность в виду отсутствия кризиса теплообмена. Вместе с наличием защитного кожуха моноблока, это исключает аварии с потерей теплоносителя (**LOCA**) и выбросом радиоактивности.

2.Перспективы использования СВТ в гражданской ЯЭ (4)



Основные положения концепции реактора СВБР-100 (3)

Масштабный фактор и серийность производства

- Малая мощность реактора не означает что паропроизводящая установка и сама АСММ будет иметь малую мощность.
- Чем больше модулей установлено на АСММ, тем более привлекательными будут технико-экономические показатели.
- Модульная структура паропроизводящей установки наиболее эффективна при отсутствии большого числа систем безопасности (СВБР-100) по сравнению с традиционными реакторами.
- Конвейерное производство реакторов и доставка их на площадку в заводской готовности, в том числе по ж/д, сокращает сроки строительства АСММ и компенсирует экономические потери связанные с малой мощностью реактора СВБР-100.

2. Перспективы использования СВТ в гражданской ЯЭ (5)



Заключение (1)

- ◆ **С точки зрения общественной приемлемости принципиальная возможность ядерной аварии с катастрофическими последствиями намного важнее факта малой ее вероятности.**
- ◆ **Уровень общественной приемлемости АСММ, которые должны размещаться вблизи городов (теплоснабжение), на основе СВБР должен быть значительно выше.**
- ◆ **Использование ядерной энергетической технологии на базе РУ с минимальным запасом различного рода потенциальной энергии обеспечивает наиболее эффективное достижение этой цели.**
- ◆ **Такие установки не усиливают внешнее воздействие, поэтому степень их повреждения определяется только энергией внешнего воздействия, а выход радиоактивности может быть локализован защитной оболочкой.**

2.Перспективы использования СВТ в гражданской ЯЭ (6)



Заключение (2)

- ◆ **Сегодня в мире отсутствуют ядерные энергетические технологии с такими качествами.**
- ◆ **Технология СВБР-100 наиболее подготовлена к демонстрации (есть опыт АПЛ).**
- ◆ **Аварии типа ТМІ, Чернобыльской, Фукусима или натриевый пожар на реакторе MONJU здесь невозможны в принципе (нет причин).**
- ◆ **Проект опытно-промышленного энергоблока (ОПЭБ) СВБР-100 разрабатывается государственно-частной компанией АО «АКМЭ инжиниринг», основанной Госкорпорацией «Росатом» и частной компанией ООО «Иркутскэнерго».**
- ◆ **Получена лицензия на размещение ОПЭБ в г. Димитровград (Ульяновская область).**

БЛАГОДАРЮ ЗА ВНИМАНИЕ