



ВНИИНМ
РОСАТОМ

VI Международная научно-техническая конференция
«Инновационные проекты и
технологии ядерной энергетики»

О текущем состоянии разработок нового типа безаварийного (толерантного) ядерного топлива

Карпюк Леонид Александрович
Генеральный директор АО «ВНИИНМ»

Предпосылки к реализации проекта

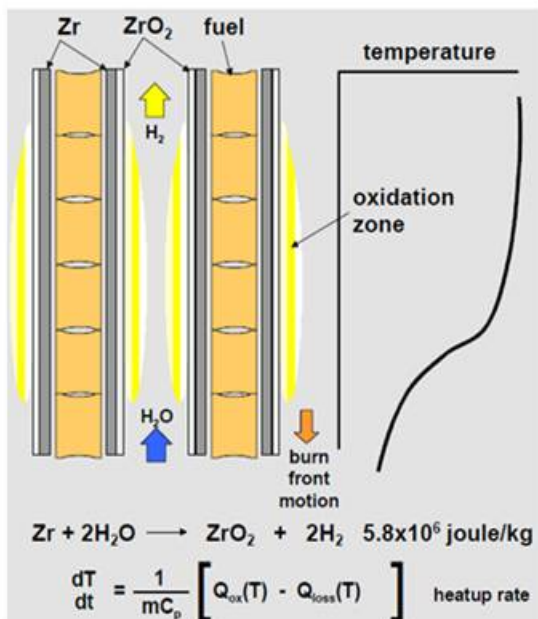


Чернобыльская АЭС, 1986 г.

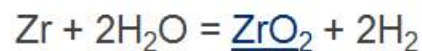


АЭС Фукусима-1, 2011 г.

Накопление водорода в условиях аварии



Пароциркониевая реакция — экзотермическая химическая реакция между цирконием и водяным паром, которая идёт при высоких температурах. В частности, реакция может происходить в активной зоне ядерного реактора с водяным теплоносителем и/или замедлителем при её перегреве в условиях контакта циркониевых конструктивных элементов с водой. Выделение водорода при пароциркониевой реакции происходит из-за сильного окисления — теплоноситель H₂O освобождается от кислорода и выделяется большое количество освободившегося водорода, пропорционально толщине окисной пленки.



Реакция начинается примерно при 861 °C, а при 1200 °C начинает развиваться очень быстро (так как выделяющаяся теплота дополнительно разогревает цирконий) и становится самоподдерживающейся.

Разгерметизация твэлов приводит к выходу радиоактивных продуктов деления в первый контур реактора

~900 кг Водорода образуется в **реакторе** в ходе тяжелой аварии с потерей теплоносителя*

~2 - 4 т Водорода образуется в **бассейне выдержки** в ходе тяжелой аварии с потерей теплоносителя

* Данные для проекта АЭС-2006, полученные при расчете сценариев ТА «Малая течь» с потерей теплоносителя и обесточиванием

Концепция толерантного топлива: значительное снижение (устранение) образования водорода



Оболочка

1. Снижение скорости окисления:
 - защитные Cr-покрытия на Zr-оболочки;
2. Исключение пароциркониевой реакции:
 - оболочки из коррозионностойких сплавов (42ХНМ);
 - Керамические оболочки (SiC).



Топливо

3. Снижение уровня запасённого тепла, повышение теплопроводности:
 - металлическое U-Mo топливо;
 - силицидное топливо;
 - нитрид урановое топливо.

Покрyтия на оболочки твэлов

Покрyтия на основе хрома

Метод нанесения высокоскоростное ионно-плазменное магнетронное распыление (ВИПМР)

Положительные свойства:

- скорость окисления хромированных твэлов при температуре 1100-1200 °С на порядок меньше скорости окисления циркониевых труб, После автоклавных экспериментов по окислению в водяном паре при давлении 18 МПа и температуре 1100-1200 °С сохраняются механические свойства оболочек (отсутствует водородное охрупчивание) в отличие от циркониевых оболочек;
- внедрение в производство требует минимальных изменений в существующей конструкции и технологии изготовления твэлов;
- является антидебризным покрытием;
- обеспечивает коррозионную стойкость в условиях повышения мощности и наличия кипения.

Отрицательные свойства:

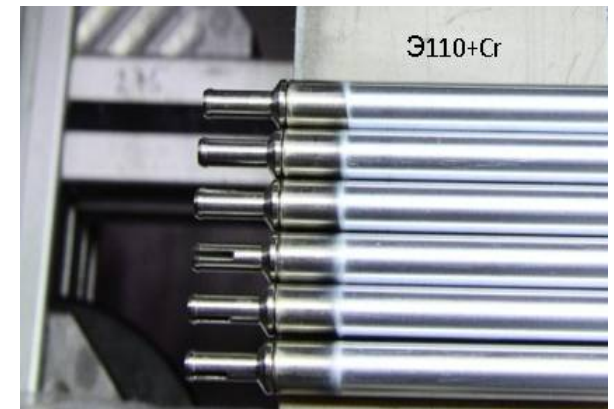
- сечение захвата тепловых нейтронов изотопами хрома (3,05 барн) в 15 раз выше, чем у изотопов циркония (0,185 барн),
- наработка активного короткоживущего изотопа ^{51}Cr ($T_{1/2}=28$ дней) и изменение химического состава в результате накопления ванадия.

Технология нанесения хромового покрытия на оболочки из Э110

Метод нанесения: высокоскоростное ионно-плазменное магнетронное распыление (ВИПМР)

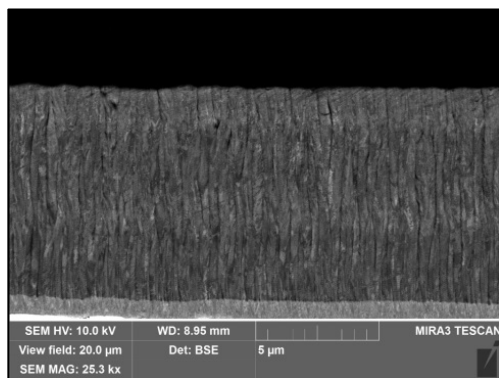
Возможные проблемы и технологические задачи:

- образование дефектов в покрытии при отклонении от режима нанесения, контроль покрытия;
- целостность покрытия при снаряжении ТВС, т.е. проталкивание твэла с покрытием через ячейки дистанционирующей решетки;
- фреттинг-износ оболочек с покрытием при эксплуатации.

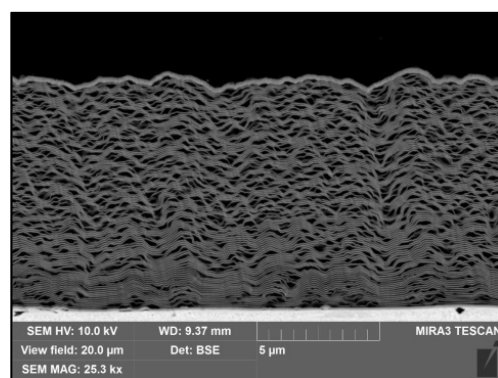


Исследование различных видов защитных покрытий

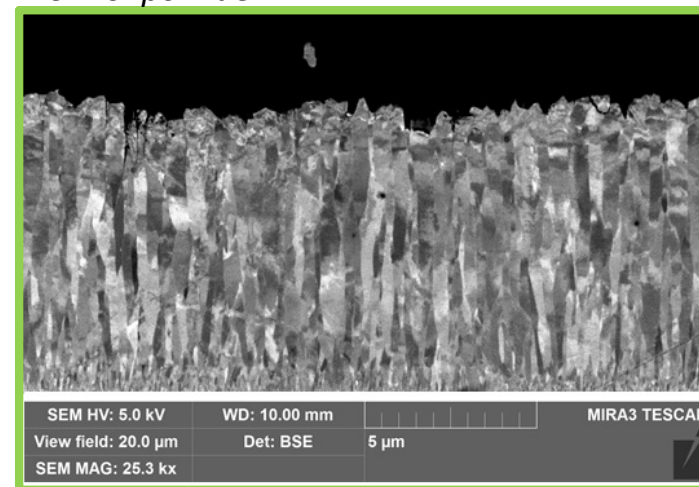
Cr-Al покрытие



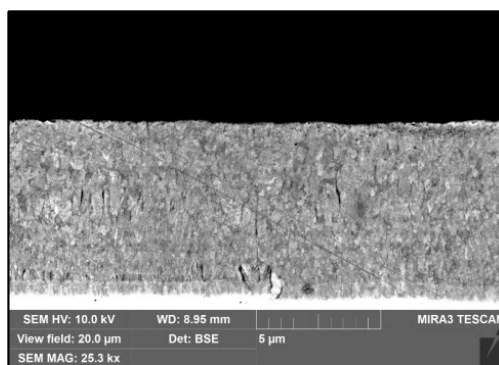
Cr-Al многослойное



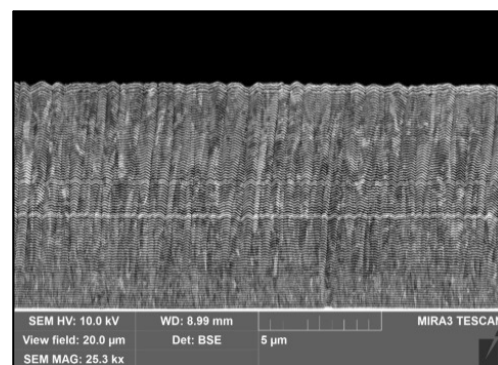
Cr покрытие



Fe-Cr-Al покрытие

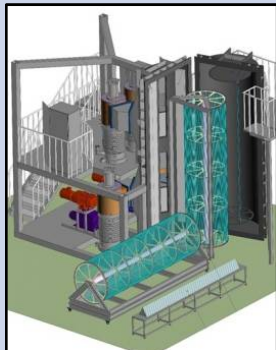


Fe-Cr-Al + Cr, многослойное



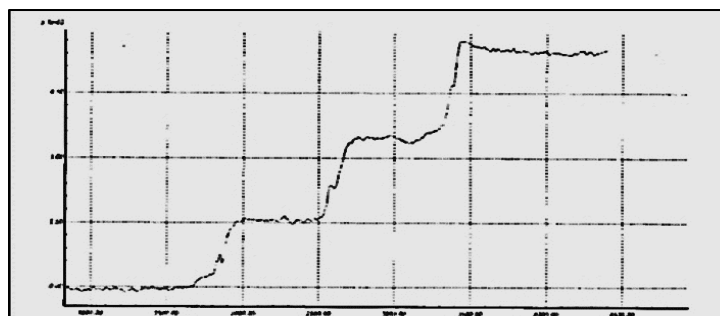
Материал	Э110 без покрытия	Cr	Cr-Al	Cr-Al многослойное	Fe-Cr-Al	Fe-Cr-Al многослойное
Вода 360°C/60 дней, мг/дм ²	30	14	14.5	15	14	15
Пар 1200°C/1000с, мг/см ²	19	9.5	17.8	14.0	11.1	19.7

Нанесение хромового покрытия на оболочки твэлов: от экспериментальной технологии до опытно-промышленной

Технология	Экспериментальная	Опытная	Опытно-промышленная
ХАРАКТЕРИСТИКИ ХРОМОВОГО ПОКРЫТИЯ			
Толщина покрытия, мкм	7,0-8,0	8,0-8,5	10-15
Адгезия, Н	40-45	46-65	Не менее 40
Шероховатость, Ra , мкм	Менее 0,6 (как у исходной оболочки без покрытия)		
Коррозионная стойкость при ВХР 1-го контура ВВЭР, мг/дм ²	14	9	Не более 12,0
ХАРАКТЕРИСТИКИ УСТАНОВОК И ПРОЦЕССА НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЯ			
Число позиций планетарной системы для установки изделий, шт.	8	6	128
Высота зоны нанесения покрытия, мм	500	4000	4840
Производительность в смену, шт.	16	12	128
Магнетроны планарные, шт.	2	2	4
Плотность мощности разряда, Вт/см ²	20-40	20-25	20-25
Напряжение смещения, В	110-120	110-115	110-120
Температура оболочки, °С	300-350	350-380	Не более 450
			
			

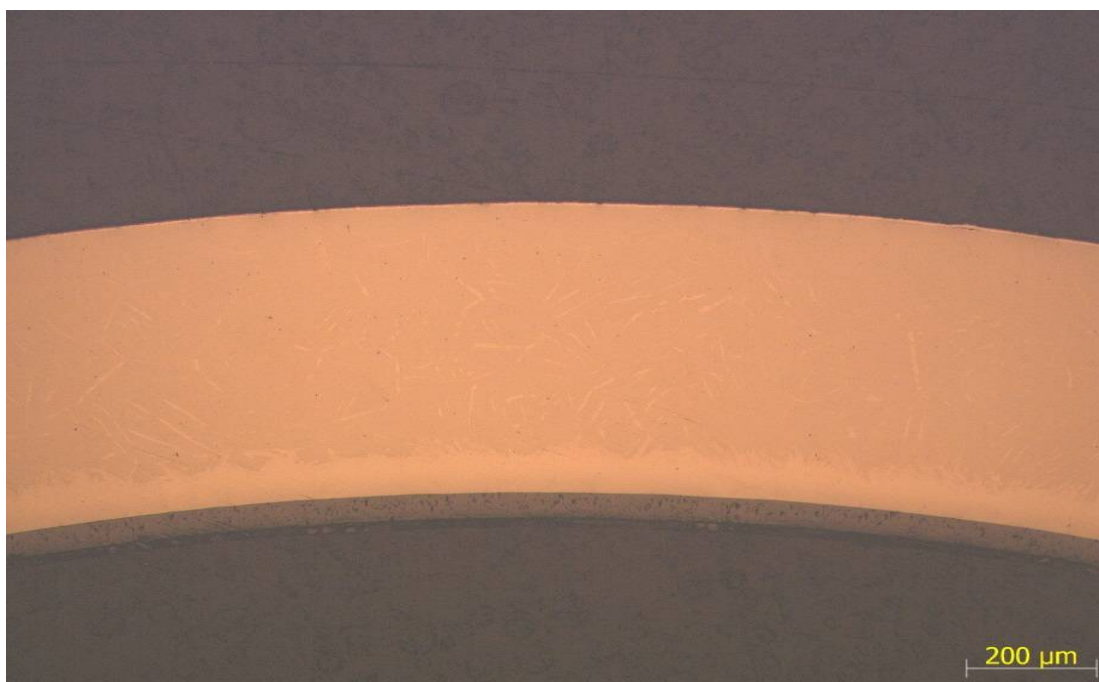
Разработка технологии нанесения жаростойкого ВИПМР-покрытия на оболочки ТВЭЛ из сплава Э-110

Фото образца трубы с покрытиями различной толщины (слева направо 5, 10 и 15 мкм) и график измерения толщины покрытия вихретоковым методом представлены ниже.

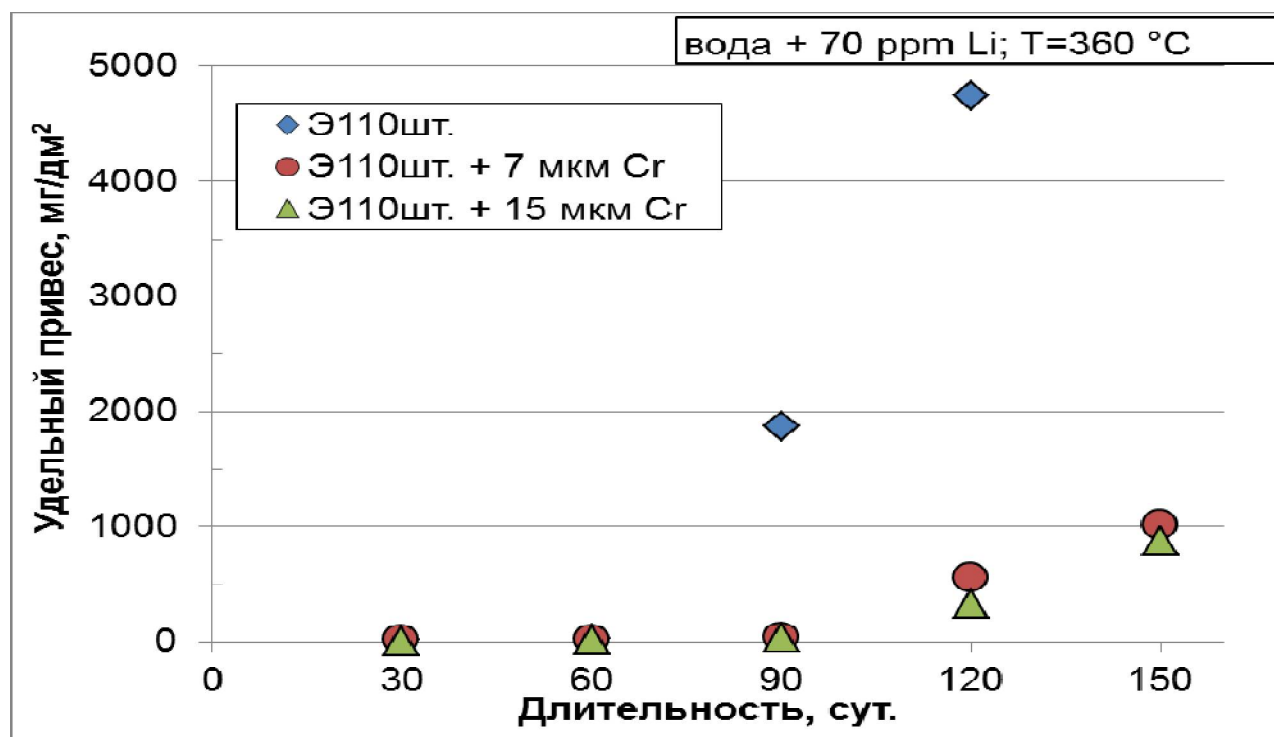


Коррозионная стойкость при высоких температурах

Покрытие на поверхности оболочки препятствует окислению в потоке водяного пара при температуре 1200°C. На внутренней незащищенной покрытием поверхности образуется оксидная пленка толщиной около 100 мкм. На наружной поверхности оксидная пленка отсутствует.

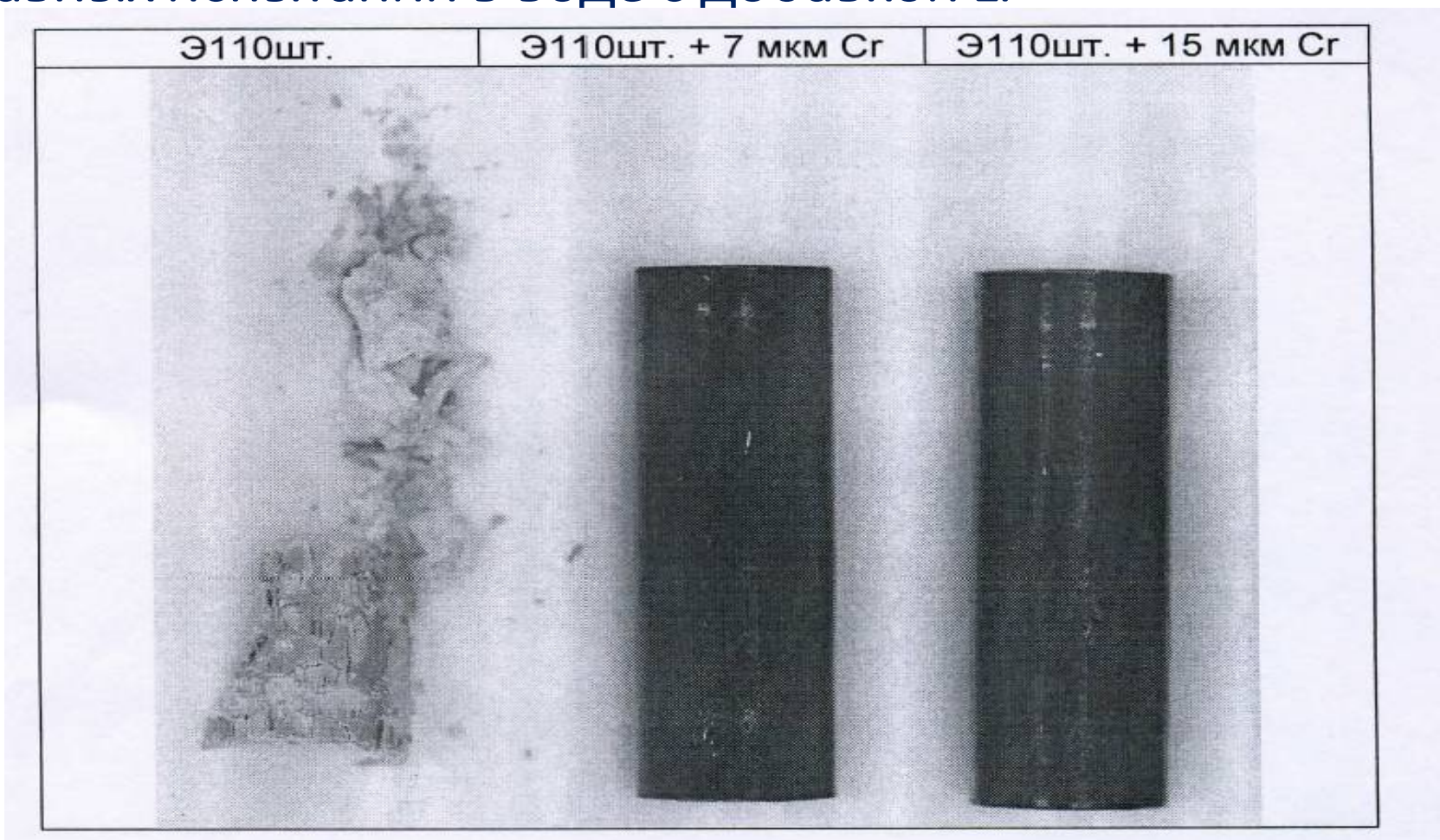


Результаты коррозионных автоклавных испытаний образцов с защитным покрытием хрома



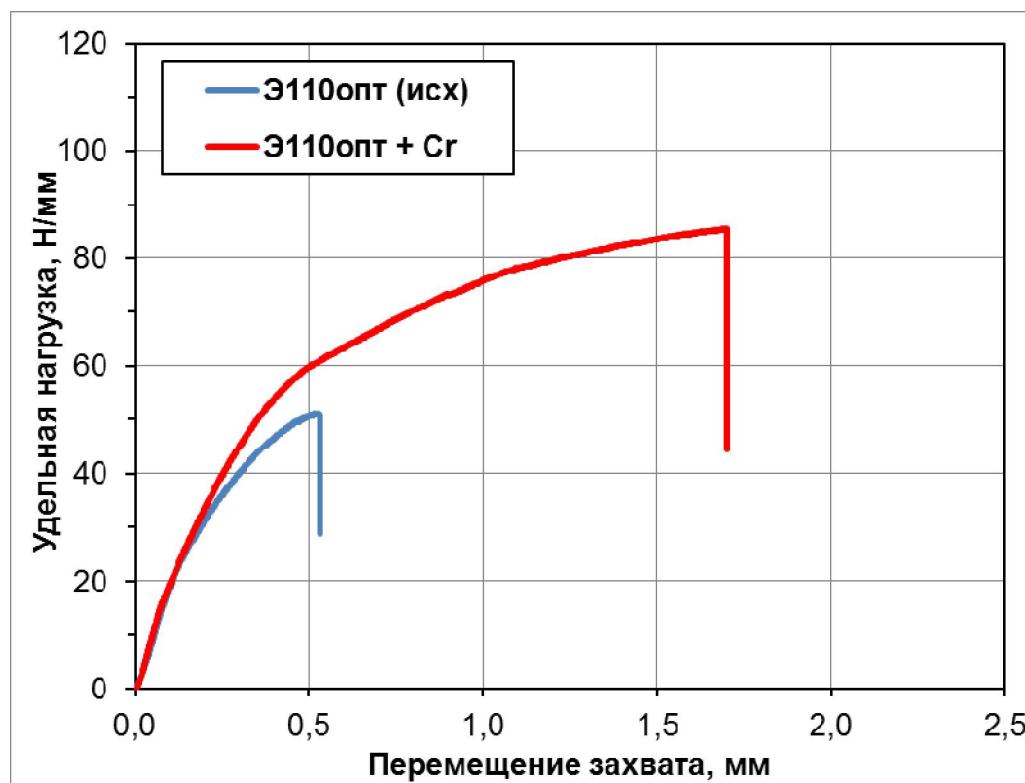
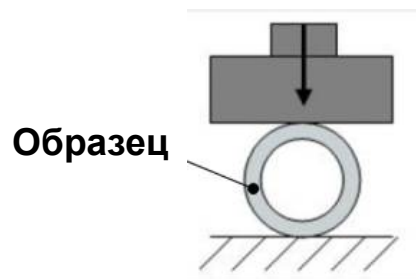
Результаты автоклавных испытаний образцов из сплава Э110 штатного состава на основе электролитического порошка циркония и образцов с защитным покрытием хрома

Внешний вид образцов с покрытием после 150 суток автоклавных испытаний в воде с добавкой Li



Изменение прочностных характеристик хромированных оболочек

Испытания на
диаметральное
сжатие при 135°C



$$\epsilon_{\text{пласт.}}(\text{Э110опт}) = 3,2\%$$

$$\epsilon_{\text{пласт.}}(\text{Э110опт+Cr}) = 14,5\%$$

Оболочки сплав Э110 + покрытие Cr



**Оболочки ВВЭР и PWR для изготовления экспериментальных твэлов
для облучения в реакторе МИР**

Функциональные блоки проектируемой опытно-промышленной установки (ОПУ)



Чиллер



Тонкостенные высокопрочные металлические оболочки

Оболочки из сплава Бочвалой (42 ХНМ)

Преимущества:

- низкая скорость окисления в водяном паре; высокая температура плавления;
- Опыт эксплуатации для оболочек ПЭЛов ВВЭР.

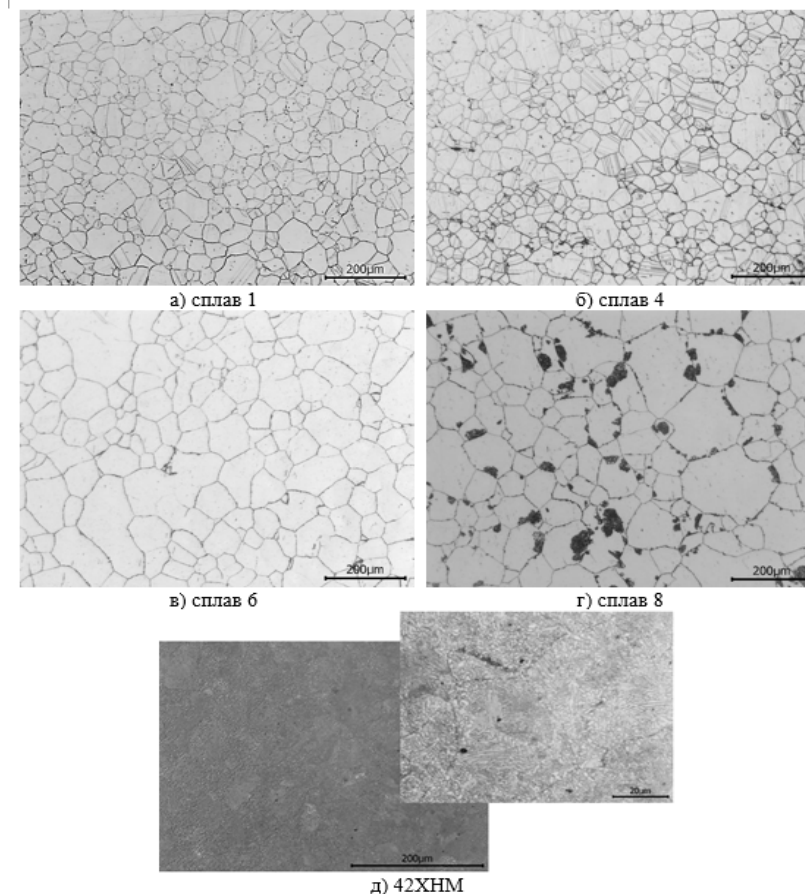
Недостатки:

- повышенный, по сравнению с циркониевой оболочкой, захват тепловых нейтронов (Cr-3.05 барн, Ni – 4.49 барн, Mo – 2.48 барн). Это потребует применение топлива с обогащением больше 5% по ^{235}U , либо использование более тонкой оболочки;
- снижение пластичности при высокой температуре;
- изменение химического состава и, следовательно, свойств под облучением; - наработка короткоживущих радиоактивных изотопов хрома, радиоактивного кобальта и молибдена.

Оболочки из сплава 42ХНМ

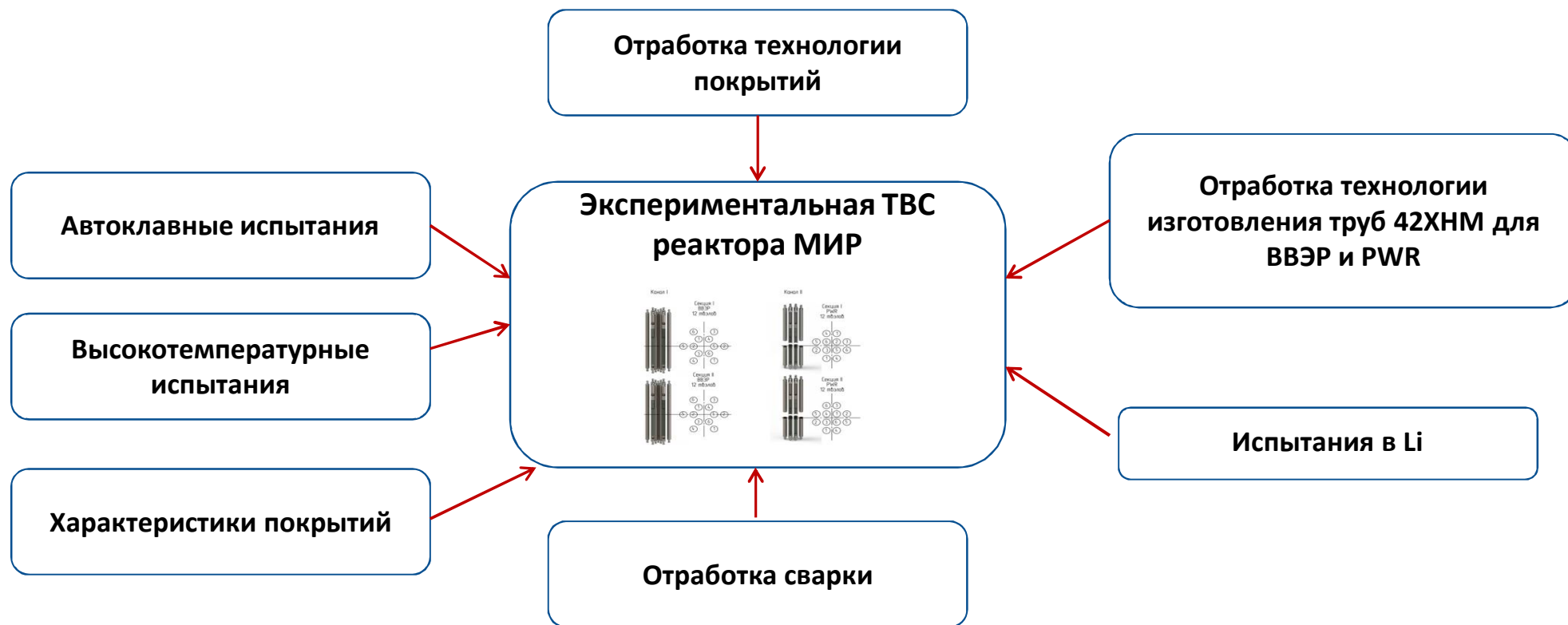
Обоснован и проведен выбор нового состава сплава типа 42ХНМ для снижения высокотемпературного охрупчивания в условиях реактора ВВЭР

В результате работы определены наиболее стабильные и устойчивые к распаду γ -Ni твердого раствора сплавы типа 42ХНМ

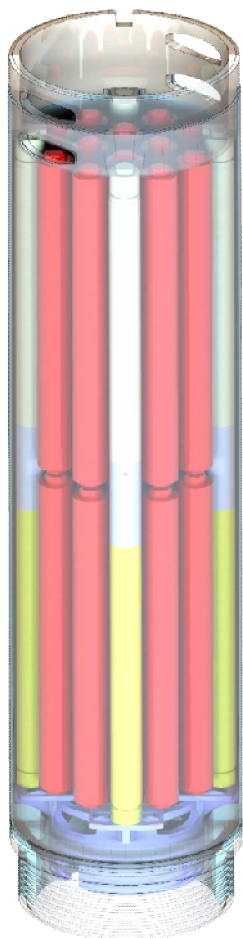


Старение 650 °С, 3000 ч

Подготовка к проведению реакторных испытаний



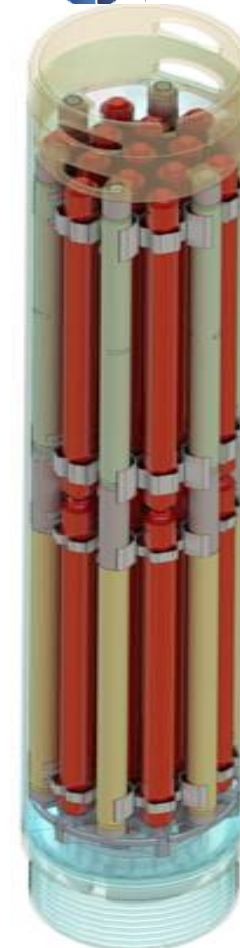
Испытания толерантного топлива в реакторе МИР.М1 (1)



Для обоснования работоспособности шести различных модификаций твэлов (топливо/оболочка) в стационарных режимах эксплуатации, а также с учётом последующих экспериментов, в реакторе МИР.М1 проходят испытания экспериментальных твэлов типоразмера ВВЭР с габаритной высотой около 500 мм следующих модификаций:

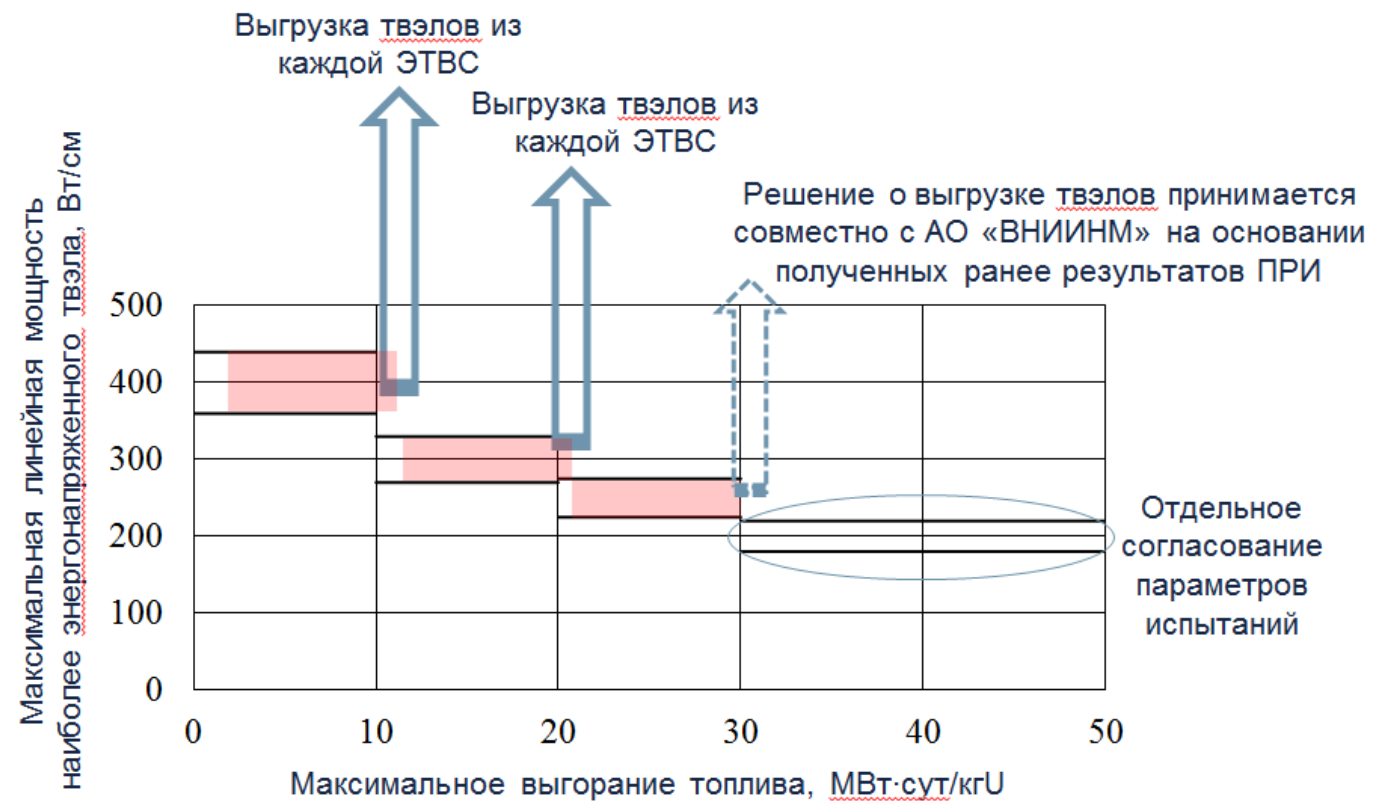
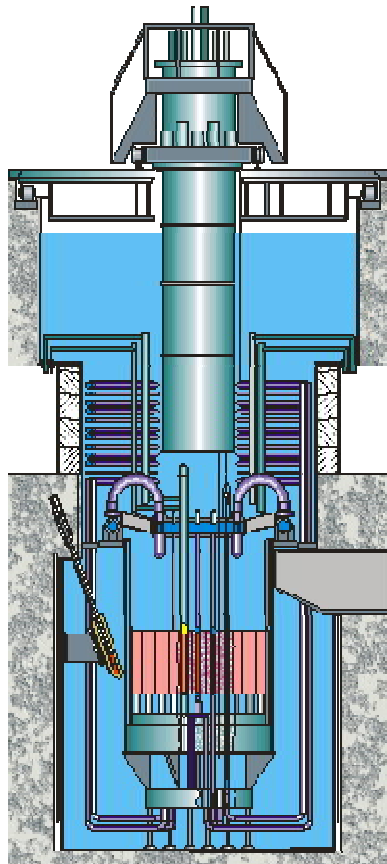
- Оболочка сплав Э110 с покрытием (технология АО «ВНИИНМ») + UO_2 ,
- Оболочка сплав Э110 с покрытием (технология АО «ВНИИНМ») + UMo ,
- Оболочка сплав 42ХНМ + UMo ,
- Оболочка сплав 42ХНМ + UO_2
- Оболочка сплав Э110 без покрытия + U_3Si_2

Кроме того, в реакторе МИР.М1 проходят испытания экспериментальных твэлов типоразмера PWR габаритной высотой 1000 мм в составе ЭТВС-К1 с топливом на основе U_3Si_2 и оболочкой из сплава Э110 без покрытия.



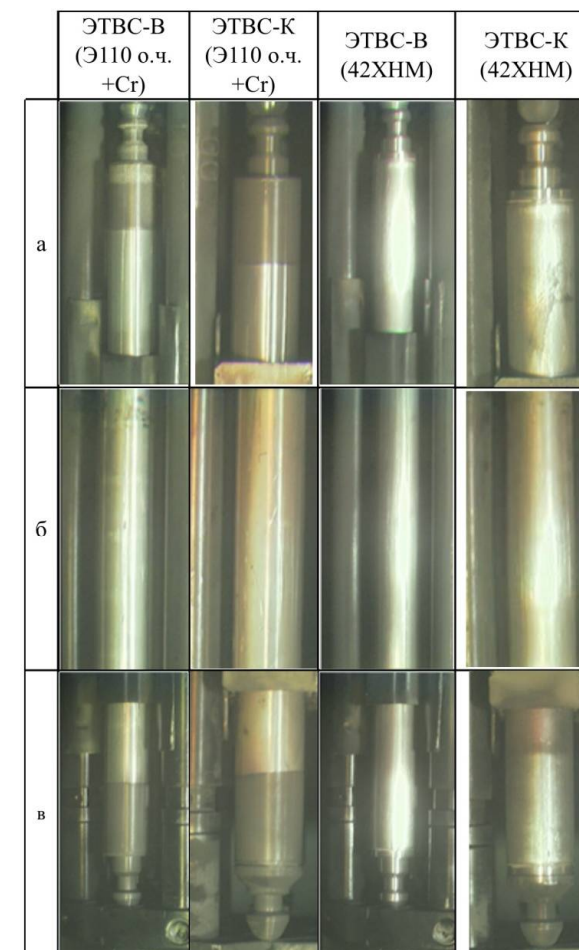
Испытания толерантного топлива в реакторе «МИР».

Программа реакторных испытаний



Послереакторные исследования

1. В процессе облучения показания штатных систем КГО и СК не превышали заданных программой испытаний значений, аномальных увеличений активности не происходило, что свидетельствует о герметичности экспериментальных твэлов.
2. По достижении максимального выгорания ~ 26 МВт·сут/кгU по ЭТВС-В и 30 МВт·сут/кгU по ЭТВС-К проведен визуальный осмотр экспериментальных твэлов в бассейне выдержки реактора МИР.М1. Механических дефектов на оболочках твэлов, сварных соединениях и конструктивных элементах не выявлено.
3. ЭТВС-К выгружена из реактора и твэлы №№3.1 и 3.4 (оболочка Э110 с покрытием АО «ВНИИНМ», топливо UO_2 , UMo), а также твэлы №№3.3 и 3.6 (оболочка 42ХНМ, топливо UO_2 , UMo) переданы для проведения послереакторных исследований.
4. Экспериментальные твэлы №4.1 (Оболочка Э110 с покрытием АО «ВНИИНМ», топливо UO_2) и №4.3 (Оболочка 42ХНМ, топливо UO_2) подготавливается для проведения экспериментов RIA и LOCA.



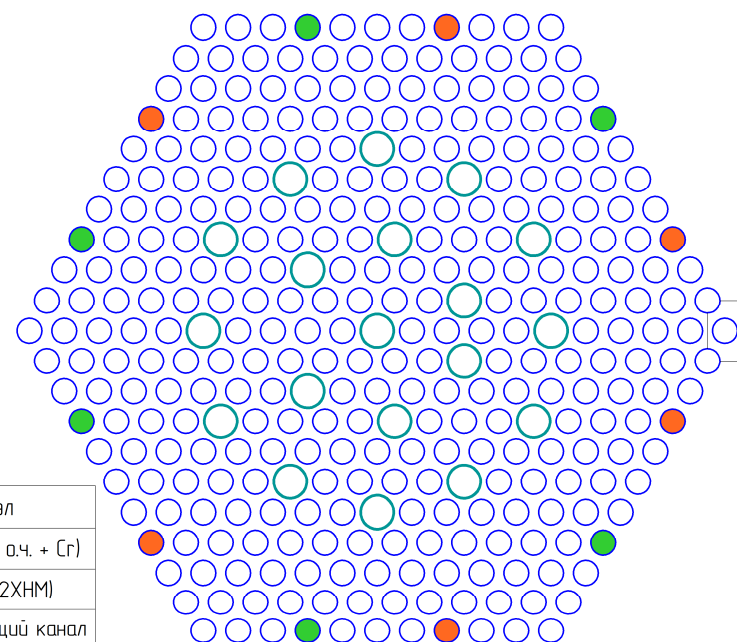
Внешний вид экспериментальных твэлов нижнего пучка ЭТВС-В и ЭТВС-К после УЗО: а) область верхних заглушек, б) центральная часть твэлов, в) область нижних заглушек

Изготовление и постановка на эксплуатацию

Изготовлено три ТВС-2М (заводские номера №16893,16894,16895) для опытно-промышленной эксплуатации на энергоблоке №2 Ростовской АЭС. Начало испытаний – 2021 г.

ТВэлы толерантного типа с оболочками:

- из сплава Э110 о.ч. С покрытием на основе хрома
- из сплава 42ХНМ.



Картограмма расположения
ТВЭЛ толерантного типа

Результаты осмотра ТВС-2М с твэлами толерантного типа на энергоблоке №2 Ростовской АЭС в ППР-2023



Керамические оболочки (SiC)

Преимущества:

- температура диссоциации SiC ($\sim 2545 \pm 40$ °C) в 2 раза превышает температуру оболочки в случае проектной аварии с потерей теплоносителя;
- не реагирует с водяным паром до 1300 °C;
- сечения захвата тепловых нейтронов карбидом кремния (Si- 0.171 барн, C – 0.0035 барн) меньше, чем у циркония.

Отрицательные свойства:

- проблемы с обращением и использованием оболочек, связанные с их хрупкостью при нормальных условиях;
- низкая скорость ползучести оболочек из SiC;
- проблемы с герметизацией твэл (сварка заглушки и оболочки);
- дорогостоящее производство волокон из SiC.

Исследование и разработка технологии изготовления герметизированных твэлов нового поколения на основе карбида кремния

План реализации проекта

Разработка технологии получения керамических прекурсоров и β -SiC волокна

Разработка технологии герметизации твэлов, изготовленных из композиционного материала на основе SiC/SiC

Разработка процессов получения экспериментальных образцов труб SiC/SiC путем изготовления каркаса из волокна и его пропиткой

Проведение дореакторных испытаний и подготовка экспериментальных образцов SiC/SiC твэлов к реакторным испытаниям

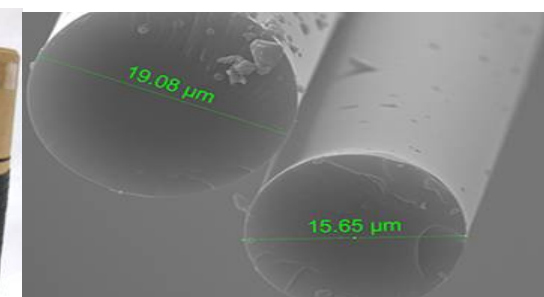
Создание экспериментальной базы в АО «ВНИИНМ» по изготовлению экспериментальных керамических оболочек твэлов из композиционного материала на основе карбида кремния



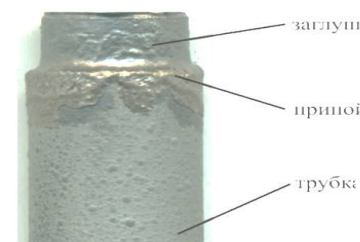
Получены образцы керамических прекурсоров SiC



Получены первые результаты по герметизации трубчатых образцов SiC



Получены образцы керамических волокон β -SiC



Припой на основе Ti и Zr



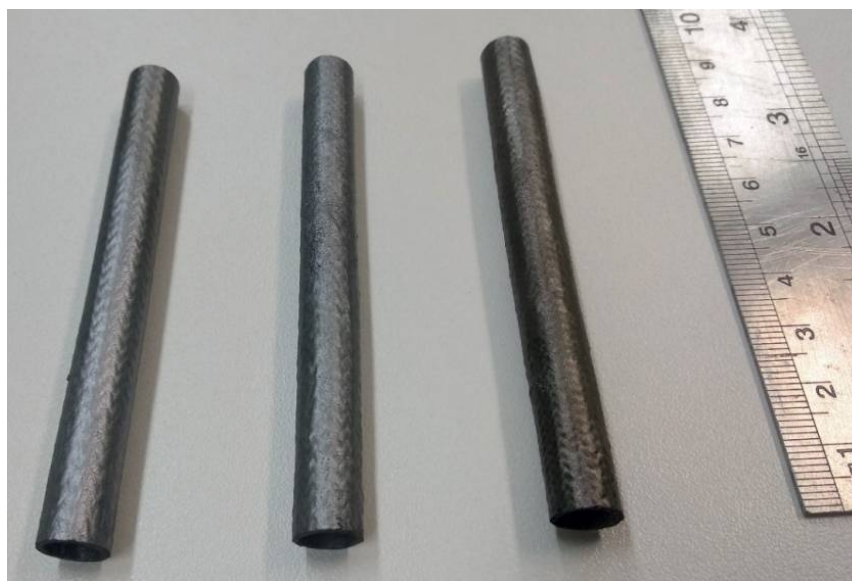
Изготовлена машина плетения волокнистых каркасов SiC и изготовлен волокнистый каркас

Оболочки из карбида кремния

1. Изготовлены и переданы в ГНЦ НИИАР образцы материала SiC для проведения первых в России реакторных испытаний образцов из карбида кремния. Образцы включают: трубы-оболочки из композита SiC, концевые элементы из SiC, волокна SiC и образцы паянного соединения «заглушка-труба» SiC-SiC.



Установка осаждения из газовой фазы



Образцы труб-оболочек перед резкой на образцы для реакторных испытаний



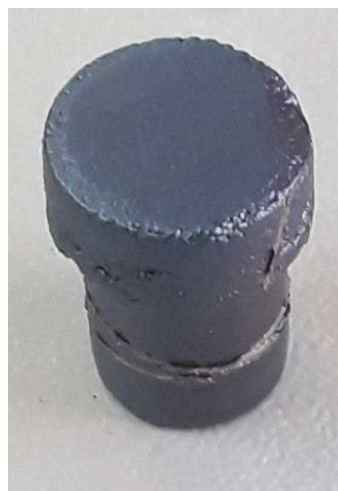
Образец трубы-оболочки с припаянным концевым элементом, покрытый слоем SiC из CVD

Оболочки из карбида кремния

2. Разработана технология прессования концевых элементов твэлов из субмикронного порошка карбида кремния с дополнительным покрытием SiC методом осаждения из газовой фазы. Изготовлены образцы концевых элементов для исследований.



Заглушки из SiC порошка



Заглушка с CVD слоем



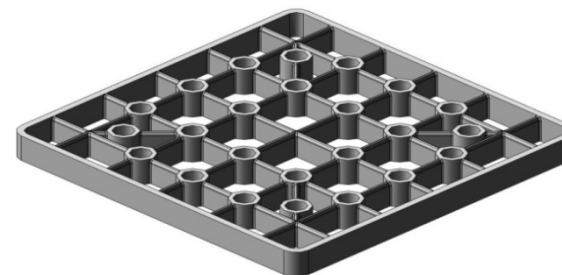
Установка горячего прессования

Оболочки из карбида кремния

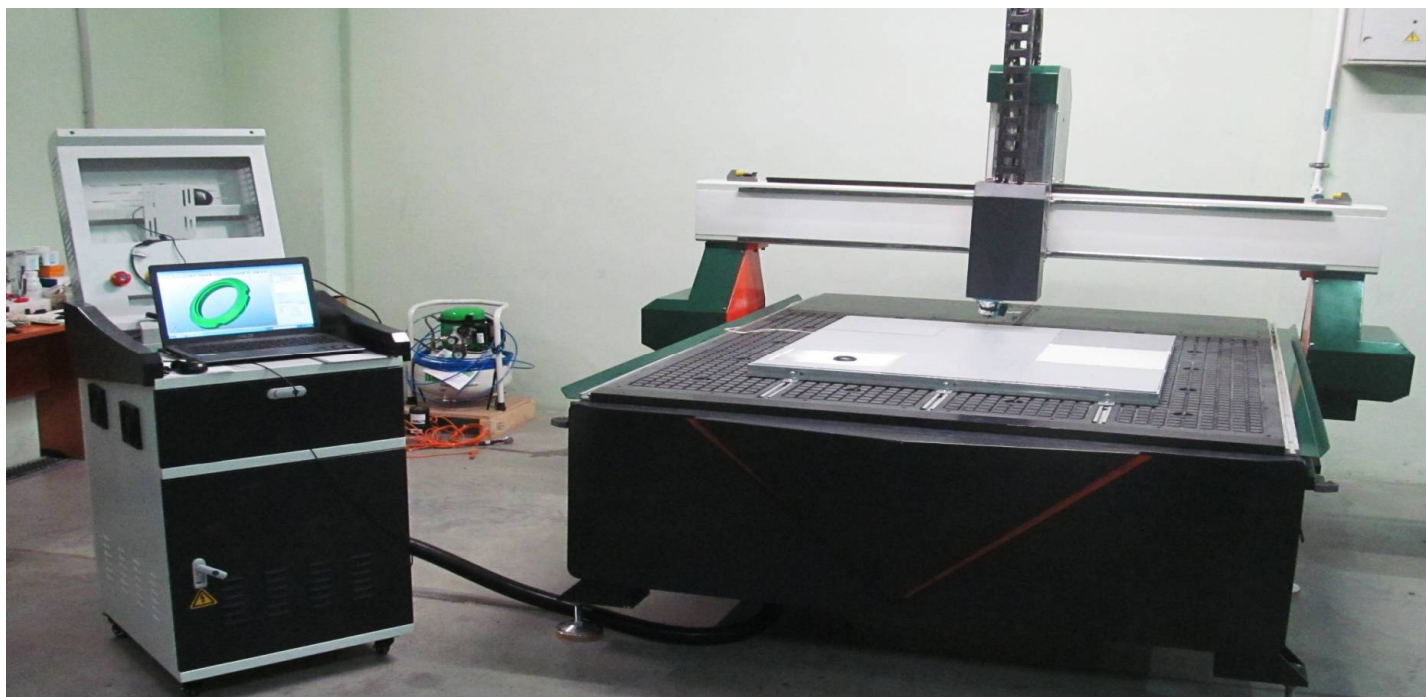
3. По разработанной ранее технологии получения безусадочной керамики на созданной совместно с ООО «Вириал» установке 3D печати получен полноразмерный макет панели хвостовика ТВС из SiC.



ВНИИНМ
РОСАТОМ



3D модель панели хвостовика ТВС



3D-принтер для формования керамических заготовок

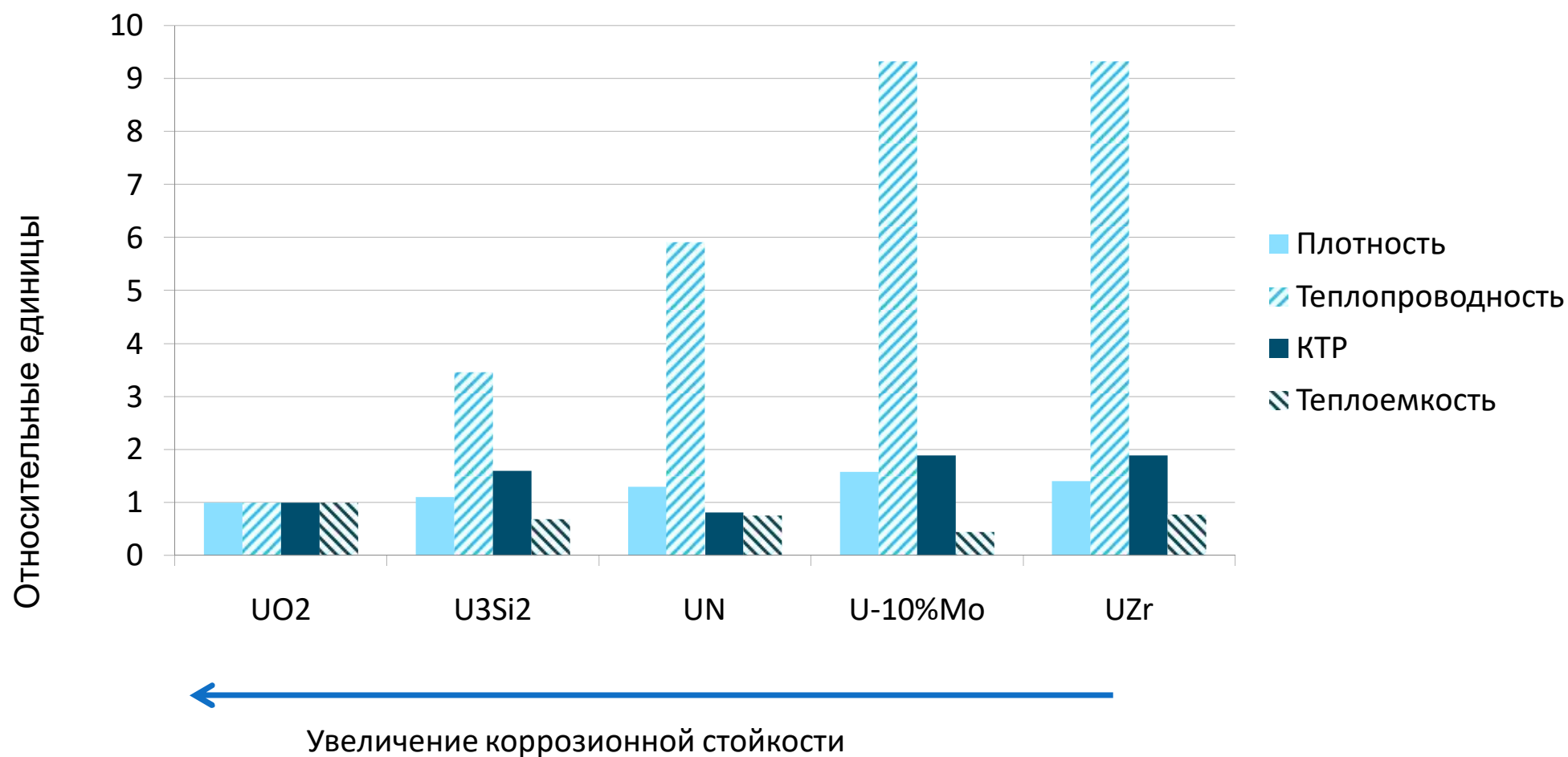


Образец панели хвостовика ТВС

Свойства различных вариантов топлива ATF

Свойства	Топливо				
	UO ₂	U-10%Mo	U ₃ Si ₂	UN	UZr
Теоретическая плотность, г/см ³ при 25 °С	10,96	17,3	12,2	14,32	15,48
Теплопроводность, Вт/м·К для 600°С < T < 800°С	3,4-3,9	32-38	11,0-15,0	21,5-23,1	30-40
Теплоемкость, Дж/моль·К для 600°С < T < 800°С	82-85	31-32	163-167	58-60	41-66
Температура ликвидуса, °С	2847	1140	1665	2850	1250
КТР 10 ⁻⁵ К ⁻¹ , при 800 °С	1,06	2,0	1,7	0,86	2,0
Уровень формоизменения	низкий	низкий до 600°С	низкий (данных мало)	нет данных	очень высокий
Взаимодействие с теплоносителем (Уровень 5 - максимальная опасность)	Многоступенчатый процесс окисления, сопровождаемый вымыванием продуктов (Уровень 1).	Экзотермическая реакция окисления, сопровождаемая выделением водорода, скорость реакции (0,3 мг/см ² ·час при 360 °С) на порядок выше, чем у UO ₂ (Уровень 3).	Многоступенчатый процесс окисления, сопровождаемый фрагментацией топлива и вымыванием продуктов, скорость разрушения при окислении выше, чем у UO ₂ (Уровень 2)	Реакция гидролиза в воде, сопровождаемая фрагментацией топлива. Скорость коррозии на порядок выше, чем у U ₃ Si ₂ (Уровень 3).	Активное экзотермическое окисление с выделением водорода быстрее чем у U-10Mo (скорость 1,8·10 ⁴ мг/см ² ·час при 350 °С). (Уровень 4)
Совместимость с оболочкой (Циркониевый сплав, 42ХНМ)	Совместимо	При температурах выше 500 °С взаимопроникновение топлива в оболочку, образование соединений урана никелем с пониженной температурой плавления	Взаимопроникновение топлива в оболочку до 45мкм за 30 часов при 1000 °С.	Неизвестно	При температурах выше 500 °С взаимопроникновение топлива в оболочку, образование соединений урана с никелем пониженной температурой плавления

Относительные свойства различных вариантов топлива ATF (по сравнению с UO_2)



Металлокерамическое топливо на основе U-Mo

Преимущества:

Одним из вариантов холодного топлива рассматривается металлическое U-Mo-топливо с высокой теплопроводностью (25 Вт/мК), имеющего на 60% большую плотность по урану ($15,76 \text{ г/см}^3$), по сравнению с диоксидным топливом, что дает возможность применять нейтронно-поглощающие материалы (оболочки из стали) не превышая 5% барьер по обогащению топлива.

UMo-топливо помимо исследовательских реакторов, применялось ранее также в реакторах типа ВВЭР – Билибинской АЭС, АМ, Белоярской АЭС, (в виде дисперсного топлива).

Недостатки:

Относительно большое распухание, низкая температура плавления.
Отсутствие опыта эксплуатации такого топлива в реакторах ВВЭР-1000.

Разработка технологии изготовления U-Мо топлива



На установке электродугового переплава выплавлены слитки сплавов OM9AO.

Слиток с повышенным содержанием Al и Sn предназначен для использования при индукционной плавке.

Разработка технологии изготовления U-Mo топлива

- от слитка отрезана заготовка длиной 80 мм , проточена на $\varnothing 50$ мм и очехлована в медный стакан;
- с использованием подготовленной имеющаяся и изготовленной дополнительной прессовой технологической оснастки проведено выдавливание стержней $\varnothing 15$ мм.
- в соответствии с рабочей документацией механической обработкой резанием изготовлены демонстрационные образцы топливных таблеток $\varnothing 8,51_{-0,03} \times 12$ мм с отверстием $\varnothing 3^{+0,25}$ мм.



Отработка технологии производства топливных таблеток



Внешний вид уран-молибденовой таблетки изготовленной методом литья



Внешний вид спеченной уран-молибденовой таблетки, изготовленной методом порошковой металлургии

Ожидается, что при переходе на промышленное производство таблеток методом прессования, стоимость таблеток из U-Mo будет сравнима с таковой для таблеток из UO_2 .

Металлокерамическое топливо на основе U_3Si_2



ВНИИНМ
РОСАТОМ

Преимущества:

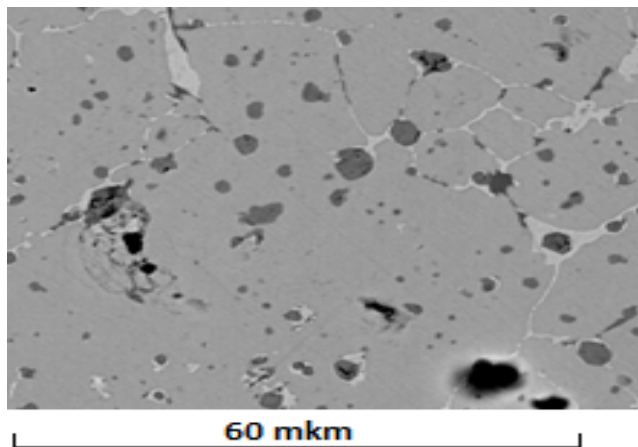
- уменьшение количества запасенного тепла в активной зоне реактора;
- отсутствие эвтектического взаимодействия с оболочкой ТВЭЛА;
- улучшение технико-экономических показателей современного топливного цикла, что позволит перейти на другой (например, от 18-месячного к 24-месячному) без увеличения обогащения выше 5 %

Недостатки:

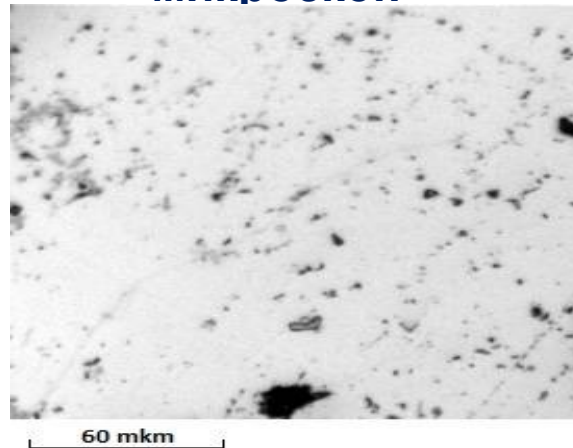
- относительно большое распухание.
- отсутствие опыта эксплуатации такого топлива в реакторах ВВЭР-1000.

Микроструктура спеченных таблеток U_3Si_2

**Электронный
микроскоп**

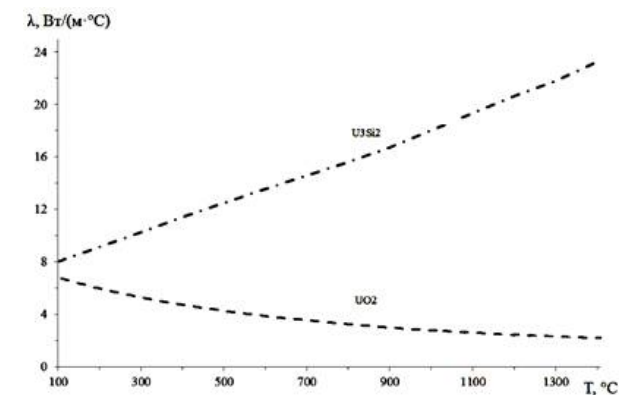
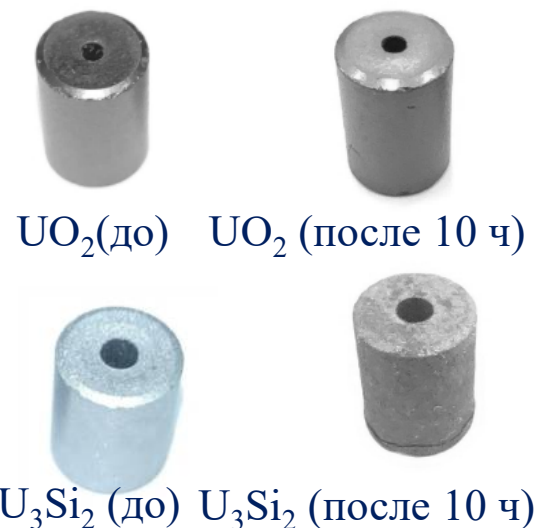


**Оптический
микроскоп**



Топливо U_3Si_2

- ✓ Проведены коррозионные испытания топливных таблеток из U_3Si_2 : топливные таблетки окислились незначительно по поверхности без разрушения с незначительным осыпанием мелких частиц.
- ✓ Проведены исследования теплопроводности топливных таблеток из U_3Si_2 .





Экспериментальная технология получения порошка U_3Si_2 из UF_4 (термодинамическое обоснование возможности)

Специалистами АО «ВНИИНМ» был проведен большой объем расчетно-экспериментальных работ.

Рассмотрены возможные реакции (1-10) в системе UF_4 -Si с учетом фазовых превращений в рамках второго и третьего приближения термодинамики, с указанием температурных областей, в которых энергия Гиббса реакции меньше нуля (реакция протекает самопроизвольно):

- | | |
|--|--|
| 1. $4UF_4 + Si = 4UF_3 + SiF_4$ | реакция протекает при любой температуре |
| 2. $UF_4 + 3 Si = USi_2 + SiF_4$ | реакция протекает при температуре выше $902^{\circ}C$ |
| 3. $3UF_4 + 5 Si = U_3Si_2 + 3SiF_4$ | реакция термодинамически запрещена |
| 4. $4UF_4 + 5USi_2 = 3U_3Si_2 + 4SiF_4$ | реакция термодинамически запрещена |
| 5. $4UF_3 + 11 Si = 4USi_2 + 3SiF_4$ | реакция протекает при температуре выше $1252^{\circ}C$ |
| 6. $8UF_3 + USi_2 = U_3Si_2 + 6UF_4$ | реакция термодинамически запрещена |
| 7. $3 UF_3 + 4,25 Si = U_3Si_2 + 2,25 SiF_4$ | реакция термодинамически запрещена |
| 8. $USi_2 + 2U \text{ тв, ж} = U_3Si_2$ | реакция протекает при любой температуре |
| 9. $4UF_3 = 3UF_4 + U$ | реакция протекает при температуре выше $1100^{\circ}C$ |
| 10. $3U + 2Si = U_3Si_2$ | реакция протекает при любой температуре |

Термодинамические расчеты энергии Гиббса реакций 1-10 показывают что: **комбинированием реакций 1, 2, 5, 8, 9, 10 получение целевой фазы трисилицида диурана теоретически возможно, однако для протекания этих реакций необходимы различные температурные режимы.**

Анализ возможности использования топлива U_3Si_2 для АСММ



ВНИИНМ
РОСАТОМ



АО «ОКБМ Африкантов» проведены оптимизационные расчеты физики активной зоны АСММ с проектным энергозапасом 8 ТВт·час с U_3Si_2 топливом.

Выгорание:

- максимальное выгорание в таблетке – 79 МВт·сут/кг U;
- максимальное выгорание по ТВС – 66 МВт·сут/кг U;
- среднее выгорание выгружаемых ТВС – 49 МВт·сут/кг U.

Металлокерамическое топливо на основе UN



ВНИИНМ
РОСАТОМ

Преимущества:

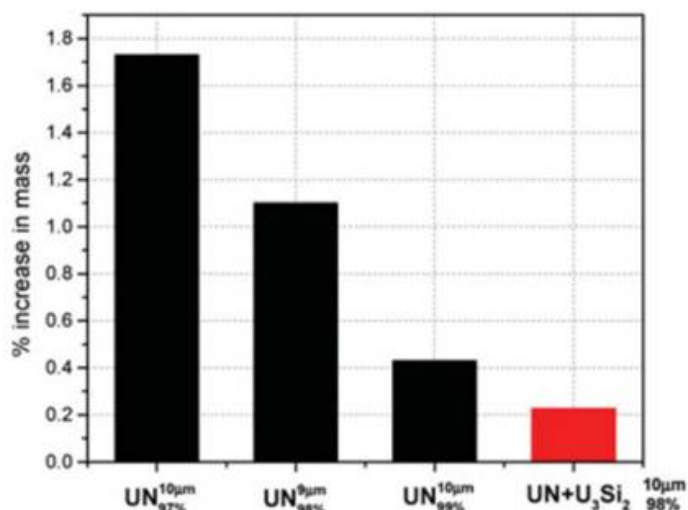
- ✓ Хорошая теплопроводность, высокая плотность.
- ✓ Совместимость со всеми потенциальными оболочечными материалами.
- ✓ Высокая стабильность под облучением.
- ✓ Высокая способность к удержанию ГПД («холодное» топливо).
- ✓ Повышенная ураноемкость – удлинение топливной компании.
- ✓ Высокая теплопроводность и низкая теплоемкость – уменьшение запасенного тепла.
- ✓ Определенный опыт изготовления и облучения в реакторах на быстрых нейтронах.

Недостатки:

- ✓ Низкая совместимость с водой и высокая окисляемость.
- ✓ Высокое сечение захвата нейтронов ^{14}N , реакция $^{14}\text{N}(n,p)^{14}\text{C}$. Необходимо применять ^{15}N .
- ✓ Трудности при изготовлении – инертная атмосфера, карботермический синтез, высокая температуры спекания.

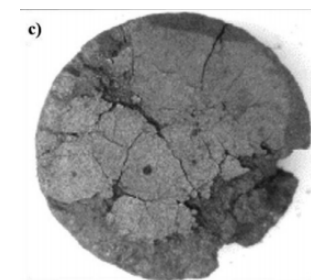
Топливо UN для ВВЭР

	UO ₂	U ₃ Si ₂	U-10Mo	UN
Теплопроводность, Вт/м*К	4	15	37	20
Теплоемкость при 500 °С Дж/кг*К	300	250	145	130
Температура плавления, °С	2840	1665	1150	2762 (разл.)
Плотность по урану, г/см ³	9,6	11,3	16,9	13,5



Коррозия горячепрессованных
 таблеток UN в паре (9 МПа, 300 °С),
 Denise Adorno Lopes, 2017.

Вероятнее всего введение U₃Si₂ в UN
 является наиболее приемлемым путем
 повышения его технологичности и
 совместимости с водой.



Вода, 150 С, 4 часа

Работы по исследованию возможности применения топлива UN в тепловых реакторах



Запланированы работы:

- разработка технологии и изготовление таблеток из UN с добавками, повышающими коррозионную стойкость (включая таблетки для инструментованных твэлов).
- исследование совместимости UN с кислородом, водой и цирконием;
- проведение теплофизических и термомеханических свойств таблеток UN;
- разработка проектов экспериментального твэла типа ВВЭР и облучательного устройства (ОУ) для реактора МИР.
- изготовление экспериментальных твэлов с таблетками из UN;
- изготовление ОУ, передача ОУ с экспериментальными твэлами с таблетками из UN в АО «ГНЦ НИИАР» для постановки на облучение в реактор МИР.

Спасибо за внимание

Презентацию подготовили:

АО «ВНИИНМ»

**Карпюк Л.А., Новиков В.В., Кузнецов В.И., Михеев Е.Н., Глебов
А.В., Сивов Р.Б., Хомяков О.В., Маслов А.А., Тарасов Б.А.,
Кабанов А.А., Утробин Д.В., Корниенко М.Ю., Краснобаев
Н.Н., Рыкунов Д.В., Титов А.О., Чернявский И.О.**