



Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору

ФЕДЕРАЛЬНОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ

«Научно-технический центр по ядерной и радиационной безопасности»



ETSON

EUROPEAN
TECHNICAL SAFETY
ORGANISATIONS
NETWORK

О возможных подходах к регулированию безопасности применения толерантного ядерного топлива

Курындин А.В., Киркин А.М., Каримов А.З., Маковский С.В.

Научно-техническая конференция «Материалы ядерной техники» (МАЯТ-2021)

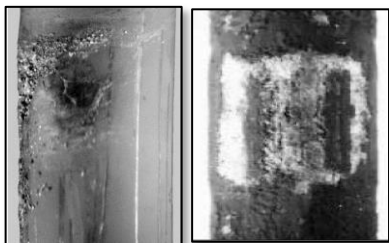
25.11.2021

www.secncrs.ru

Предпосылки применения толерантного ядерного топлива



- ✓ Традиционное ядерное топливо (UO_2 в циркониевой оболочке) обладает относительно малыми теплопроводностью и устойчивостью к окислению
- ✓ При использовании оболочек из сплавов циркония при авариях существует возможность возникновения пароциркониевой реакции
- ✓ Одно из решений - внедрение ядерного топлива с повышенной устойчивостью к авариям (“толерантного” ядерного топлива – от англ. Accident Tolerant Fuel)



Характерные повреждения циркониевой оболочки

Химический состав, %:	Циркалой-2	Циркалой-4	Сплав Э110	Сплав Э125
Zr	98,6-97,8	98,4-97,8	~99,0	~97,5
Nb	–	–	1,0	2,5
Sn	1,2-1,7	1,2-1,7	–	–
Fe	0,05-0,15	0,18-0,24	–	–
Cr	0,07-0,20	0,07-0,13	–	–
Ni	0,03-0,08	–	–	–

более коррозионно-стойкий

меньшая склонность к гидрированию



Фрагменты разрушенных ТВЭЛОВ

- ✓ Применение топлива с измененной оболочкой ТВЭЛОВ:
 - применение легирующих покрытий на циркониевом сплаве
 - замена циркониевого сплава на сталь
 - замена циркониевого сплава на керамический материал

- ✓ Применение топливной матрицы с измененным материалом:
 - применение металлического ядерного топлива (UMo)
 - применение силицидного ядерного топлива (U_3Si_2)

- ✓ Комбинация измененной оболочки ТВЭЛОВ и измененной топливной матрицы



Состояние внедрения толерантного ядерного топлива в мире



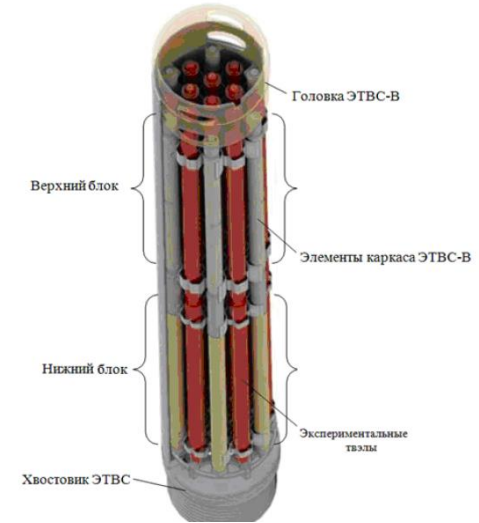
- ✓ С 2018 по 2020 (АЭС Edwin I. Hatch, США) – облучение твэлов с оболочкой из сплавов IronClad (сталь с добавлением Cr и Al) и ARMOR (Zr с хромовым покрытием)
- ✓ С 2018 по 2022 (АЭС Vogtl, США) – облучение твэлов с хромовым покрытием, а также твэлов с модернизированной топливной матрицей (с включениями Cr_2B_3)
- ✓ С 2019 (АЭС Byron, США) и с 2020 (АЭС Doel, Бельгия) - облучение твэлов с хромовым покрытием и включениями Cr_2B_3 и Al_2O_3 в топливную матрицу (топливо типа EnCore)
- ✓ На 2022 год запланированы испытания топлива с оболочкой из карбида кремния и топливной матрицей из U_3Si_2



Текущее состояние работ по внедрению толерантного ядерного топлива в Российской Федерации



- ✓ В настоящее время прорабатывается возможность внедрения толерантного топлива следующих типов:
 - с оболочкой ТВЭЛОВ из сплава Э110 о.ч. с покрытием из Cr;
 - с оболочкой из сплава 42ХНМ;
- ✓ Проводятся реакторные испытания ЭТВС с толерантным ядерным топливом на реакторе МИР.М1 (АО «ГНЦ НИИАР»)
- ✓ Начата опытная эксплуатация 36 ТВЭЛОВ с оболочкой из сплавов Э110 о.ч. и 42ХНМ (топливная матрица – UO_2) на энергоблоке № 2 Ростовской АЭС



Экспериментальная ТВС

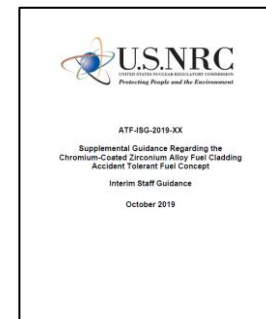
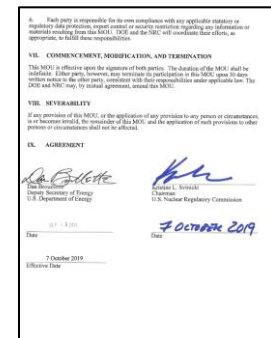
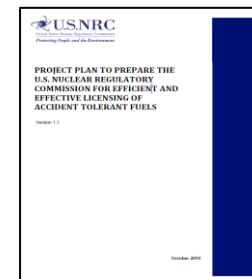
Подходы к регулированию при внедрении толерантного топлива в США (1/2)



✓ Для учета специфических особенностей нового ЯТ разработан План проведения работ по лицензированию толерантного ядерного топлива

✓ Предусматривается вовлечение регулятора на ранних стадиях разработки толерантного ядерного топлива (участие в проведении испытаний, участие в тематических семинарах, поддержание контакта с проектными и эксплуатирующими организациями)

✓ На основании результатов взаимодействия разрабатываются рекомендации для персонала NRC по оценке обоснования безопасности применения толерантного ЯТ



Подходы к регулированию при внедрении толерантного топлива в США (2/2)



- ✓ Предусмотрено проведение анализа действующих документов на предмет необходимости внесения в них изменений
- ✓ Предусмотрена разработка (корректировка) расчетных моделей, используемых для альтернативных расчетов
- ✓ Предусмотрена разработка дорожных карт по подходам к лицензированию отдельных концепций толерантного топлива и анализу конкретных технических решений



Существующие требования федеральных норм и правил в отношении ядерного топлива



- ✓ Общие требования к безопасности внедрения новых компонентов РУ АС (включая ядерное топливо) установлены в НП-001-15 и НП-082-07
- ✓ Требования к обоснованию прочности и термомеханического поведения тепловыделяющих сборок и тепловыделяющих элементов реакторов типа ВВЭР установлены в НП-094-15
- ✓ Положениями ФНП установлена необходимость проведения стендовых и реакторных испытаний с целью подтверждения выполнения критериев безопасности



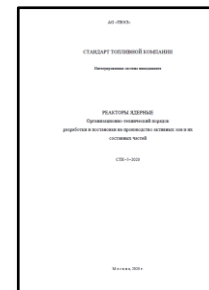
Положения стандартов организаций, устанавливающих требования к ядерному топливу



✓ Стандарты организаций (АО «ТВЭЛ», АО «Концерн Росэнергоатом») расширяют положения ФНП и устанавливают требования к производству ядерного топлива

✓ Стандарт СТК-5-2020 (АО «ТВЭЛ») определяет порядок разработки составных частей активных зон ядерных реакторов

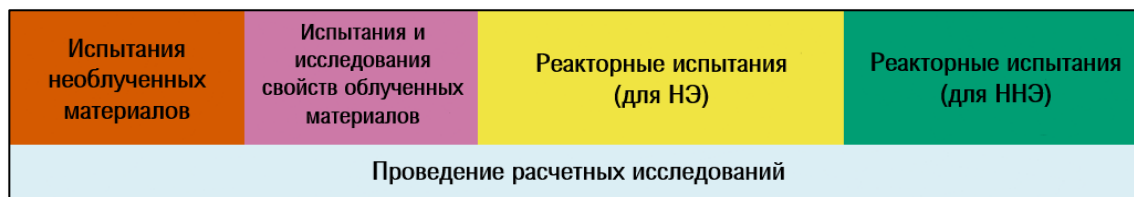
✓ Стандартами АО «Концерн Росэнергоатом» установлены рекомендации по методам исследований ТВС и их составных частей



Разработка унифицированных требований к внедрению ядерного топлива новых типов



- ✓ Ростехнадзором и Госкорпорацией «Росатом» принято совместное решение о необходимости совершенствования нормативной базы, устанавливающей требования к внедрению нового ядерного топлива
- ✓ С 2021 года в ФБУ «НТЦ ЯРБ» ведется разработка новых федеральных норм и правил в области использования атомной энергии
- ✓ Основные аспекты новых ФНП:
 - порядок организации производства и изготовления ядерного топлива
 - требования к используемым материалам
 - требования к испытаниям (стендовые, реакторные на ИЯУ) и проведению опытной эксплуатации на АЭС



Обоснование безопасности нового топлива

Заключение

- В Российской Федерации ведутся активные работы по внедрению толерантного ядерного топлива. Масштабное внедрение нового ядерного топлива создает вызовы для регулирующего органа и требует всестороннего анализа безопасности (проведения экспертизы безопасности)
- С целью унификации процесса регулирования безопасности при внедрении нового ядерного топлива ведется работа по совершенствованию нормативной правовой база в области использования атомной энергии
- Проблемы при внедрении толерантного ядерного топлива в РФ аналогичны тем, с которыми сталкивались регулятор и проектные организации в США
- Разработанный NRC План проведения работ по лицензированию топлива толерантного типа – хорошая практика, которую целесообразно учесть в Российской Федерации