

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ОБРАЩЕНИЯ СО СВЕЖИМ РЕМИКС-ТОПЛИВОМ НА ДЕЙСТВУЮЩИХ АЭС С ВВЭР-1000

И.Н. Васильченко, К.Ю. Куракин, С.А. Кушманов, А.Д. Джаландинов, В.Н. Чернышев, П.Ф. Калинин

Актуальность и основы использования РЕМИКС-топлива

В настоящее время в мире уже накоплены сотни тысяч тонн ОЯТ, ежегодно из реакторов выгружаются тысячи тонн ОЯТ. При этом перерабатывается только незначительное количество от накопленных запасов.

В России ситуация аналогичная. Завод РТ-1 (ФГУП «ПО «Маяк») занимается переработкой ОЯТ, но мощность его не позволяет даже компенсировать количество ежегодно выгружаемого ОЯТ.

Один из путей решения проблемы накопленного ОЯТ и экономии природного урана - это многократное рециклирование РЕМИКС-топлива в тепловых реакторах.

РЕМИКС-топливо изготавливается из смеси урана и плутония, выделенных из ОЯТ в ходе переработки, с добавлением обогащенного природного урана с содержанием урана-235 около 16-17%.

Использование такого топлива позволяет реализовать полное замыкание ЯТЦ по урану и плутонию в тепловых реакторах. В таком ЗЯТЦ вводится обогащенный природный уран и выводятся радиоактивные отходы, а все делящиеся нуклиды многократно рециклируются.



Схема рециклирования регенерированных урана и плутония в реакторе ВВЭР-1000 в виде РЕМИКС топлива /1/

РЕМИКС-топливо является в некотором смысле альтернативой МОКС-топливу (смеси обеднённого природного урана и плутония).

Экономия природного урана при рециклировании РЕМИКС-топлива больше, чем при использовании МОКС-топлива. Преимущество РЕМИКС-топлива связано с повторным использованием не только плутония, содержащегося в ОЯТ, но и остаточного количества урана-235.

Цели и задачи анализа

РЕМИКС-топливо содержит примерно 1,2% плутония, а также изотопы урана, содержащиеся в регенерированном уране. Такое топливо имеет более высокий радиационный фон по сравнению со штатным топливом из природного обогащенного урана, что может создать трудности при использовании РЕМИКС-топлива в реакторах ВВЭР-1000.

В настоящее время планируются работы по разработке, изготовлению и облучению в реакторе ВВЭР-1000 трёх опытных ТВС с РЕМИКС-топливом.

Дополнительного изучения требуют вопросы обращения со свежим РЕМИКС-топливом на АЭС.

Специалистами ОКБ «ГИДРОПРЕСС» в 2013 году проведён анализ возможности обращения со свежим РЕМИКС-топливом на действующих АЭС с ВВЭР-1000.

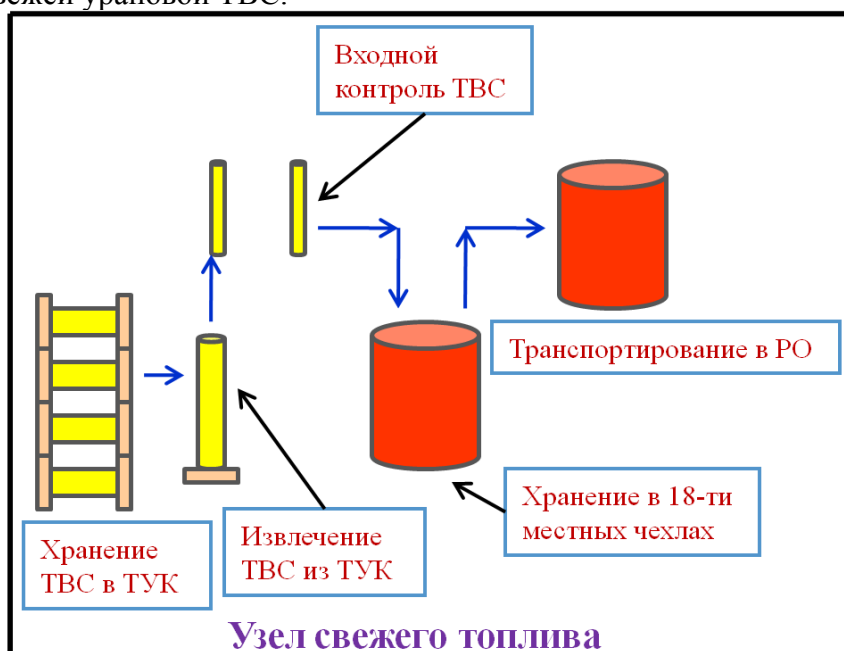
Работа выполнена по договору «Анализ возможности применения существующей схемы обращения со свежим урановым ядерным топливом для обращения с РЕМИКС-топливом на АЭС с ВВЭР-1000. Требования к оборудованию для обращения с ТВС-РЕМИКС на АЭС» между ОАО ОКБ «ГИДРОПРЕСС» и ФГУП «НПО «Радиевый институт им. В.Г. Хлопина».

В качестве исходных данных приняты: изотопный состав свежего РЕМИКС-топлива и активность ТВС-РЕМИКС (на базе ТВС-2М), предоставленные Заказчиком, перед вторым рециклом.

Цель настоящего анализа – определение значений мощности дозы нейтронного и гамма-излучения, формирующих радиационную обстановку при транспортно-технологических операциях со свежим РЕМИКС-топливом в УСТ на АЭС с ВВЭР-1000. Значение мощности дозы определялось для следующих случаев:

- вблизи одиночной ТВС-РЕМИКС без защиты;
- вблизи двухтрубного ТУК с ТВС-РЕМИКС;
- вблизи штабеля из двухтрубных ТУК с ТВС-РЕМИКС;
- вблизи 18-ти местного чехла с ТВС-РЕМИКС.

Также в цели данного анализа входила проверка возможности осуществления транспортно-технологических операций со свежими ТВС-РЕМИКС в УСТ ВВЭР-1000 с помощью штатного оборудования (ТУК, чехол для свежего топлива), применяемого в настоящее время для операций с урановыми ТВС. Анализ данной возможности проводился с точки зрения соблюдения радиологических критериев и на основании сравнения с уровнем излучения от свежей урановой ТВС.



Штатная схема обращения со свежим ядерным топливом на АЭС с ВВЭР-1000

Методика расчета

Для корректного определения плотности потока и мощности дозы нейтронов и гамма-квантов вблизи данных конструкций необходимо решение задачи в трехмерной геометрии.

Трехмерный расчет переноса нейтронов и гамма-квантов от заданного источника проводился по программе КАТРИН, реализующей решение уравнения переноса нейтронов и гамма-квантов методом дискретных ординат.

Для верификации программы КАТРИН непосредственно под задачу определения мощности дозы нейтронного и гамма-излучения от ТВС и ТУК было проведено сравнение результатов расчета по данной программе с результатами аналитического бенчмарк-теста.

Результаты расчёта

В отчете приведены результаты анализа радиационной обстановки при транспортно-технологических операциях со свежими ТВС-РЕМИКС в УСТ на АЭС с ВВЭР-1000.

Мощность гамма-источника увеличивается со временем за счет накопления продуктов распада изотопов урана (^{232}U) и плутония (^{241}Pu).

Мощность нейтронного источника РЕМИКС-топлива очень слабо меняется со временем выдержки.

Суммарное значение мощности дозы от нейтронного и гамма-излучения на различном расстоянии от свежей ТВС-РЕМИКС за полгода выдержки увеличивается всего на 30 % (от ТУК с ТВС-РЕМИКС примерно на 20 %, от чехла с 18 ТВС-РЕМИКС примерно на 10 %). При увеличении времени выдержки ТВС-РЕМИКС до 2 лет значение мощности дозы вблизи одиночной ТВС-РЕМИКС возрастает на 60 %, а при выдержке 10 лет – в 3 раза.

Результаты анализа показали, что радиационная обстановка для одиночной ТВС-РЕМИКС с выдержкой 2 года примерно в 70 раз хуже, чем для ТВС с урановым топливом. Для транспортного чехла с ТВС-РЕМИКС разница ещё больше – в 130 раз. Но это меньше, чем для ТВС с МОКС-топливом на основе энергетического плутония с тем же временем выдержки, где разница составляет 470 и 420 раз соответственно.

Выводы

Радиационная обстановка примерно в 7 раз лучше для одиночной ТВС-РЕМИКС с выдержкой 2 года и примерно в 3 раза лучше при размещении ТВС-РЕМИКС в транспортном чехле, чем для ТВС с МОКС-топливом на основе энергетического плутония с тем же временем выдержки.

Расчетный анализ показал, что снизить значения мощности дозы вблизи ТУК и чехла с ТВС-РЕМИКС до уровня, близкого к свежим урановым ТВС, путем увеличения биологической защиты данного оборудования (увеличение толщины стенки ТУК и обечайки чехла, применение борированной стали вместо обычной), оставаясь в допустимых пределах по весогабаритным характеристикам, невозможно.

В связи с вышеизложенным, дополнительные требования по доработке конструкции ТУК и чехла для свежего топлива не предъявляются. Рассмотрены организационные меры, направленные на снижение радиационного воздействия на персонал в УСТ.

Без выполнения специальных мероприятий организационного плана обращение со свежим РЕМИКС-топливом по штатной схеме невозможно.

При проведении ТЭ исследований возможности применения РЕМИКС-топлива на существующих АЭС необходимо учитывать затраты на выполнение специальных мероприятий.

Рекомендации:

- Сократить период от изготовления ТВС-РЕМИКС до установки в реактор.
- Перевести УСТ из категории постоянного пребывания персонала в категорию периодического обслуживания.

- Исключить или существенно сократить входной контроль и выполнять его дистанционно.
- Разработать и использовать средства для ослабления нейтронного и гамма-излучения.
- Оптимизировать число рециклов РЕМИКС-топлива с учетом увеличения радиационного фона вблизи ТВС-РЕМИКС от рецикла к рециклу.

Перечень сокращений

АЭС	- атомная электрическая станция
ВАО	- высокоактивные отходы
ЗЯТЦ	- закрытый ядерный топливный цикл
ОЯТ	- отработавшее ядерное топливо
ТВС	- тепловыделяющая сборка
ТУК	- транспортный упаковочный комплект
УСТ	- узел свежего топлива