



НИИАР

XXX Всероссийская конференция
«Нейтронно-физические проблемы атомной энергетики»
(Нейтроника-2019)

ПРЕДПРИЯТИЕ ГОСКОРПОРАЦИИ «РОСАТОМ»

АНАЛИЗ ЯДЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ОБРАЩЕНИИ С ОТРАБОТАВШИМ ТОПЛИВОМ РЕАКТОРА МИР

Е.С. Фрааз, А.П. Малков, А.В. Акимов

27 - 29 ноября 2019 г.
г. Обнинск



ВВЕДЕНИЕ

Одна из ключевых задач обеспечения безопасности РУ – соблюдение требований ЯБ при обращении с ядерным топливом вне реактора.

Основным критерием обеспечения ЯБ при хранении и транспортировании ядерного топлива является не превышение эффективным коэффициентом размножения нейтронов $K_{эфф}$ значения 0,95 как при нормальной эксплуатации, так и при нарушениях нормальной эксплуатации, включая проектные аварии и изменение плотности замедлителя (в частности, воды). Это требование распространяется на процедуры обращения, как с необлученным, так и с отработавшим ЯТ.

Для анализа ядерной безопасности были использованы результаты расчётов эффективного коэффициента размножения нейтронов $K_{эфф}$, полученных с использованием аттестованной программы MCU-RFFI/A. Анализ выполнен в полном соответствии с требованиями государственных нормативных документов по ядерной безопасности исследовательских ядерных установок.

Особенности обращения с ОЯТ реактора МИР

Исследовательский реактор МИР.М1 предназначен для испытаний ЯТ реакторов различного назначения. В связи с большим многообразием тематики проводимых на реакторе испытаний номенклатура экспериментальных изделий, технологических операций и используемого оборудования на реакторе МИР.М1 значительно шире, чем на других исследовательских установках АО «ГНЦ НИИАР». Также в составе реакторной установки МИР.М1 присутствуют радиационно-защитные камеры для разделки и исследований экспериментальных устройств. Все перечисленные условия усложняют процедуру анализа и обоснования ЯБ при обращении с отработавшим ядерным топливом.

Например, из большого многообразия петлевых (экспериментальных) ТВС для проведения анализа ЯБ путем итерационных расчетов была выбрана такая расчетная модель ПТВС, которая консервативно в расчетах будет приводить к максимальным значениям $K_{эфф}$.

Размещение гнезд для хранения ОЯТ в БВ и ТК

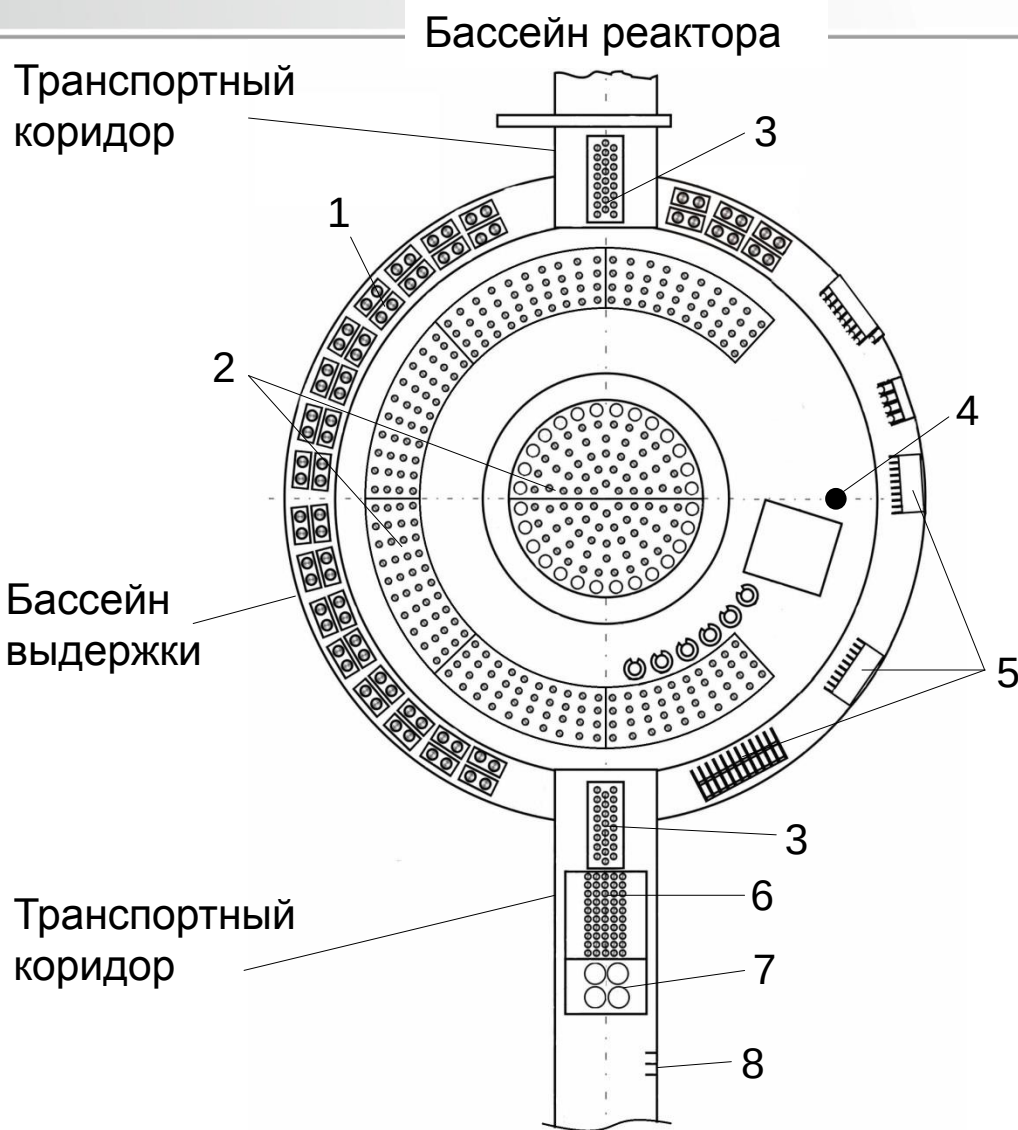


Рис.1. Схема размещения гнезд для хранения ОЯТ РУ МИР.М1 в БВ и ТК:

- 1 – гнезда для аварийной выгрузки ПК с ПТВС;
- 2 – гнезда для хранения РТВС;
- 3 – гнезда для аварийной выгрузки РК с РТВС;
- 4 – пенал для негерметичной ПТВС;
- 5 – площадки с кронштейнами для ПТВС;
- 6 – гнезда для РТВС и ПТВС;
- 7 – гнезда для транспортных чехлов;
- 8 – крючки для чехлов с ОУ

Хранение РТВС в шахте БВ

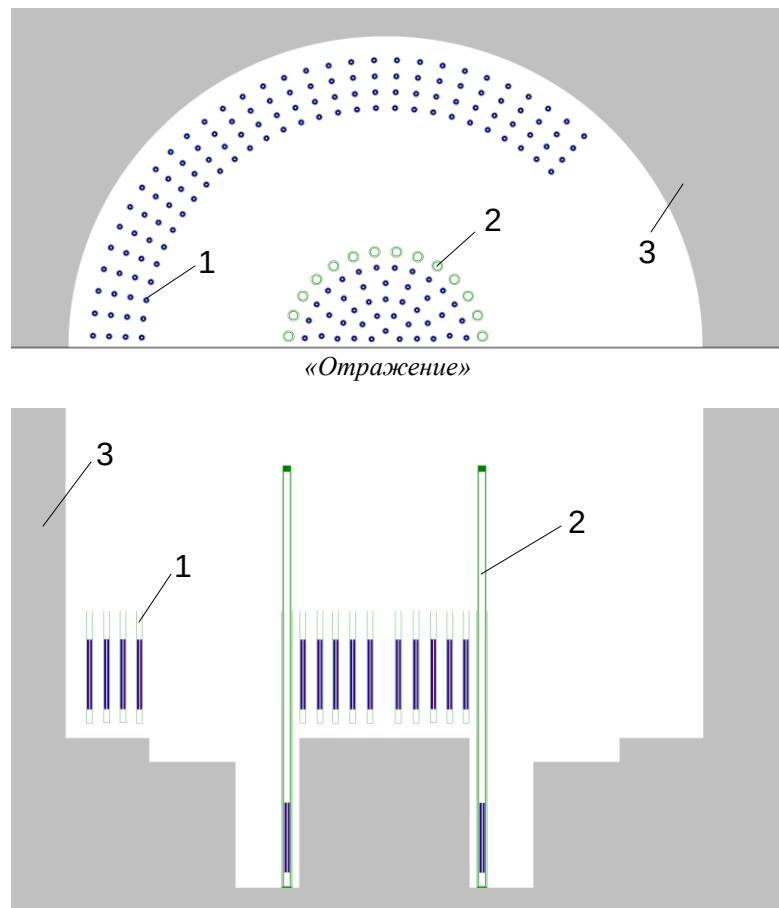


Рис.2. Поперечное и продольное сечение расчетной модели БВ: 1 – ячейка с РТВС; 2 – пенал для негерметичной РТВС; 3 – бетон. Размеры в мм

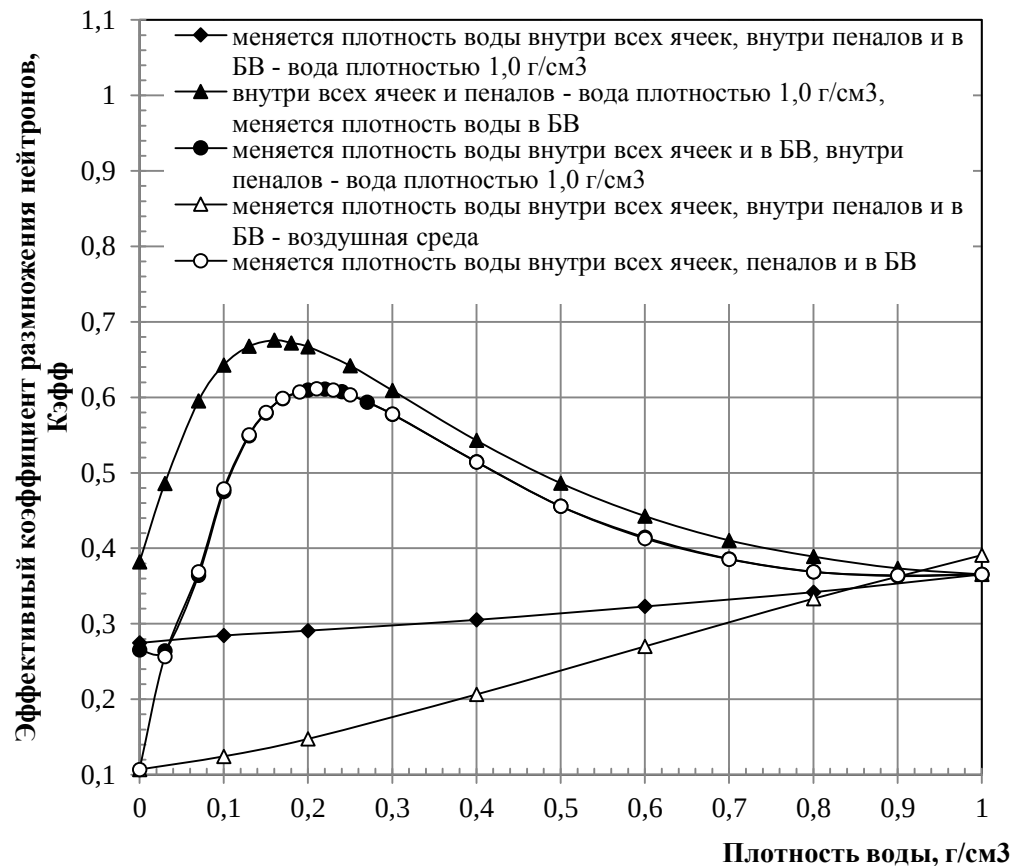


Рис.3. Зависимость $K_{эфф}$ для системы, моделирующей хранение рабочих ОТВС в БВ в штатных позициях, от плотности воды внутри и вне ячеек и пеналов

Хранение РТВС и ПТВС в 50 гнездах ТК

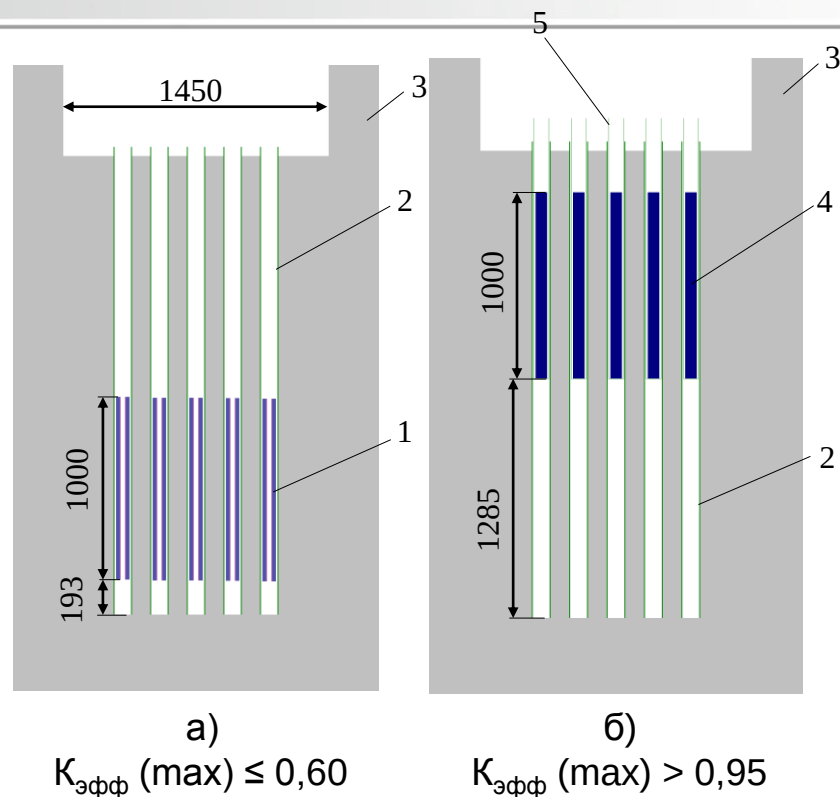


Рис.4. Продольные сечения расчетных моделей систем, моделирующих хранение РТВС (а) и ведер с ПТВС (б) в группе из 50-ти гнезд:
 1 – РТВС; 2 – гнездо; 3 – бетон; 4 – ПТВС;
 5 – ведро (размеры указаны в мм)

В группе из 50-ти гнезд могут хранить как РТВС, так и ПТВС. В расчетах сначала все гнезда заполняли РТВС, а затем – ПТВС. Расчеты проводили для различной комбинации среды внутри и вне ТВС и гнезд. В первом случае максимальное значение $K_{эфф}$ не превысило 0,6, а во втором – значение превысило допустимую величину 0,95. В связи с этим были проведены расчеты по определению количества ПТВС, которые можно безопасно хранить в группе из 50-ти гнезд.

Хранение РТВС и ПТВС в 50 гнездах ТК

Для этого уменьшали количество ПТВС, а в освободившихся гнездах располагали РТВС, таким образом, чтобы все 50 гнезд были заняты или рабочими или петлевыми ТВС. В результате расчетов получили, что значение $K_{эфф}$ не превысит допустимую величину 0,95 при хранении в 50-ти гнездах транспортного коридора не более 33 ПТВС. В этом случае значение $K_{эфф}$ с учетом статистической погрешности не превысило 0,93.

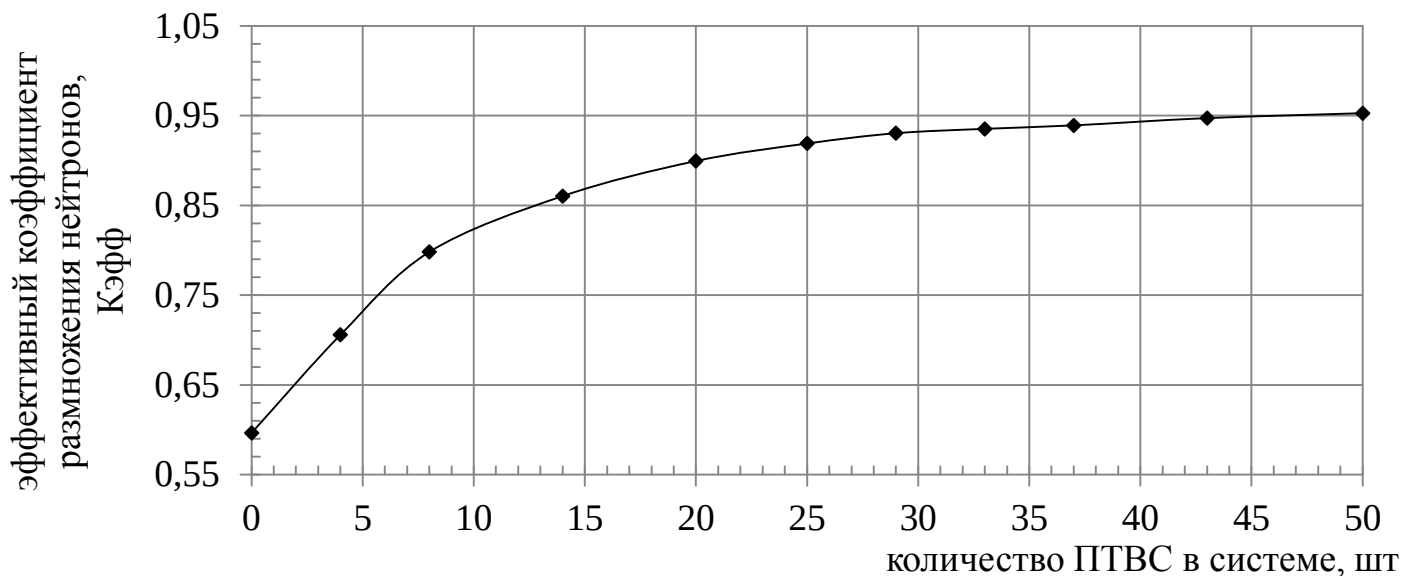


Рис.5. Зависимость $K_{эфф}$ для системы, моделирующей хранение рабочих и петлевых ТВС в 50-ти гнездах ТК, от количества ПТВС в системе

При проведении анализа кроме расчетов при штатном хранении ОЯТ, рассматривали полную выгрузку активной зоны реактора на случай аварии. Неопределенность расчетов возникла при моделировании аварийной выгрузки петлевых каналов (ПК) в гнезда БВ. Она заключалась в том, что ПК имеют сложную конструкцию с наличием патрубков подводящих и отводящих трубопроводов и их точную геометрию размещения в БВ предсказать невозможно. Они могут быть расположены на разном расстоянии друг от друга и от ячеек с рабочими ТВС.

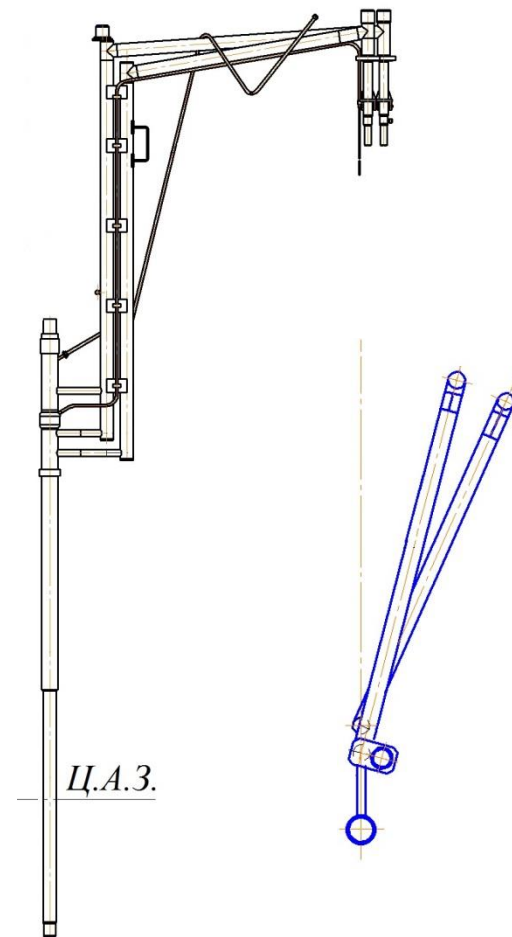


Рис.6. Канал петлевой

Размещение ПК в гнездах БВ при аварийной выгрузке активной зоны реактора

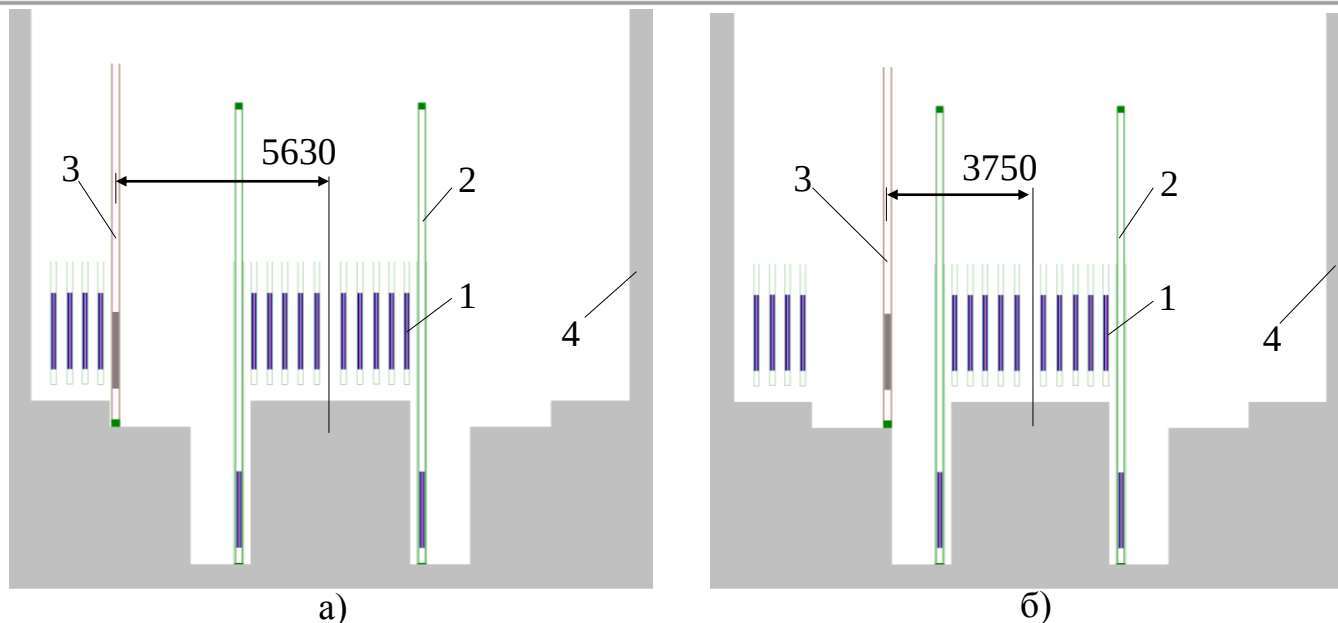


Рис.7. Продольные сечения расчетных моделей, каждая из которых моделирует размещение ПК в шахте БВ: 1 – ячейка с РТВС; 2 – ячейка с пеналом для негерметичной РТВС; 3 – ПК с ПТВС; 4 – бетон (размеры указаны в мм)

По результатам расчетов, значения $K_{эфф}$ не превысили:

- 0,77 – ПК расположены на окружности диаметром 5630 мм;
- 0,69 – ПК расположены на окружности диаметром 5000 мм;
- 0,68 – ПК расположены на окружности диаметром 4200 мм;
- 0,68 – ПК расположены на окружности диаметром 3750 мм.

Размещение ПК в гнездах БВ при аварийной выгрузке активной зоны реактора

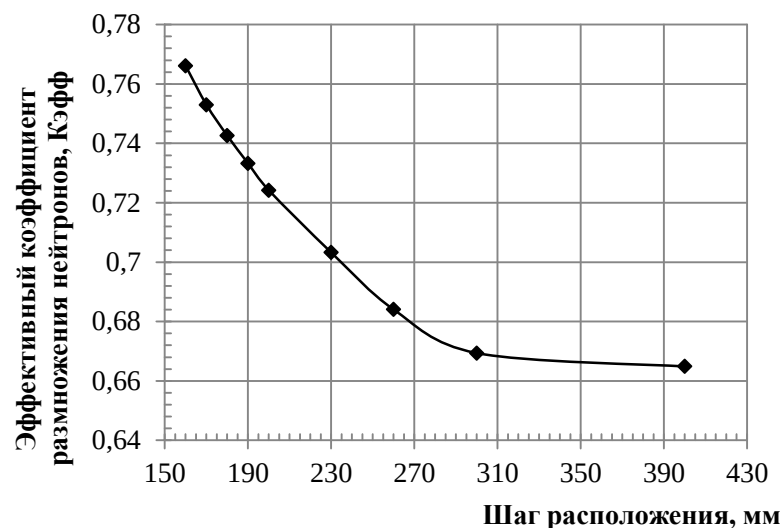


Рис.8. Зависимость $K_{эфф}$ для системы, в которой ПК расположены на окружности Ø5630 мм, от шага между ПК

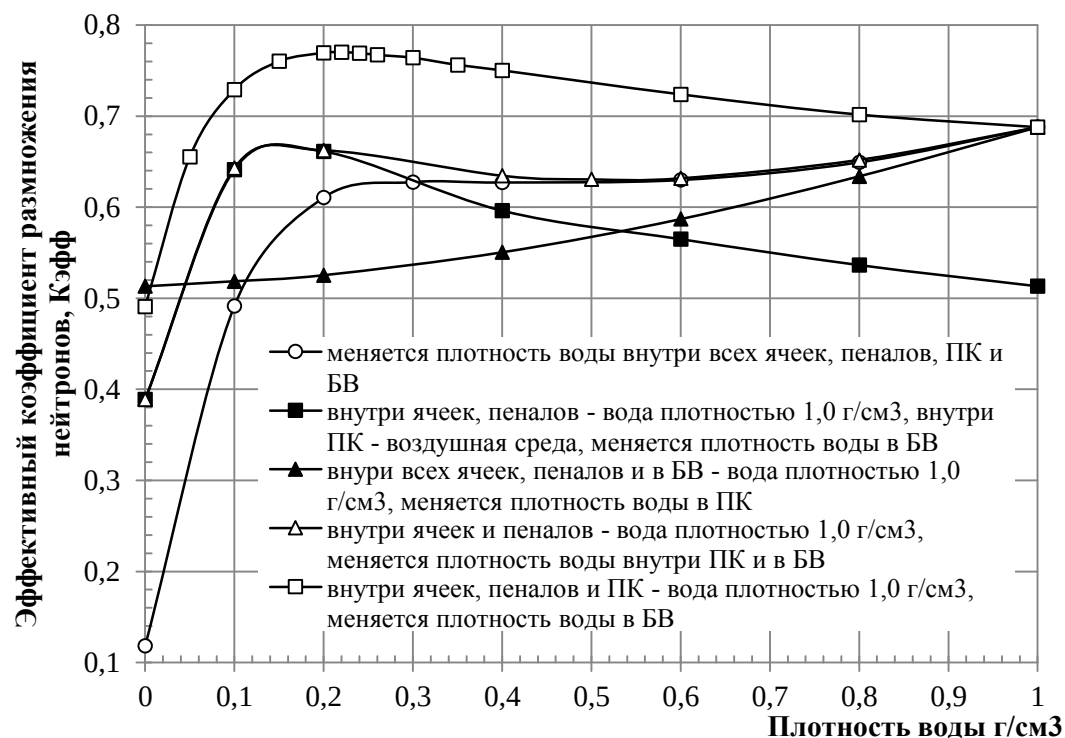


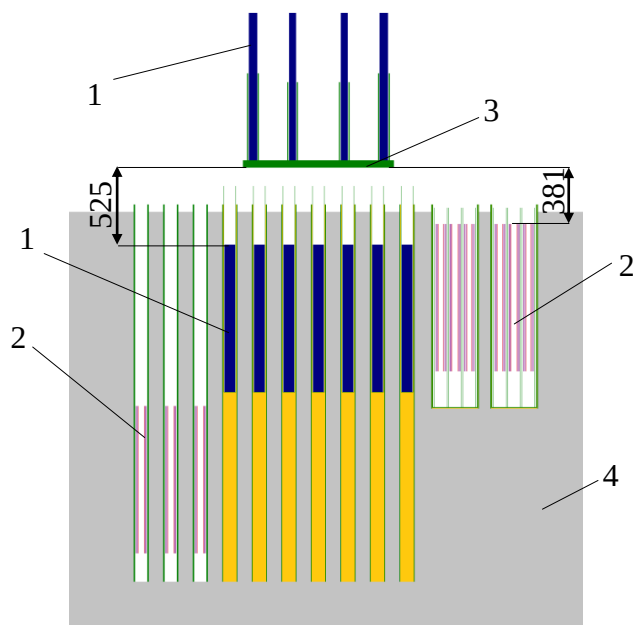
Рис.9. Зависимость $K_{эфф}$ для системы, моделирующей размещение ПК с ПТВС в БВ, от плотности воды внутри и вне ячеек, пеналов и ПК.

Таким образом, при размещении ПК с ПТВС в БВ максимальное значение $K_{эфф}$ не превышает 0,77 и достигается в случае, когда внутри всех ячеек, пеналов и ПК – вода плотностью 1,0 г/см³, а в БВ – вода плотностью 0,22 г/см³.

После того, как для каждой групп гнезд БВ и ТК были определены условия, при которых достигаются максимальные значения $K_{\text{эфф}}$, далее каждую из групп располагали в соответствии с их реальным размещением в БВ и ТК. Исследовали изменение размножающих свойств соседних групп гнезд при изменении положения точки рождения нейтронов.

В результате таких расчетов были определены группы, которые являются зависимыми или независимыми по нейтронному взаимодействию от соседних групп гнезд.

Перемещение стеллажа по БВ и ТК



$$K_{эфф} \leq 0,93$$

Рис.10. Продольное сечение расчетной модели системы, моделирующей расположение поворотного стеллажа (25 ПТВС) над гнездами транспортного коридора:

1 – ПТВС; 2 – РТВС; 3 – нижняя плита поворотного стеллажа; 4 – бетон.

Размеры в мм

От реактора к местам хранения ОЯТ перемещают под слоем воды на поворотном стеллаже. При прохождении стеллажа с изделиями вблизи гнезд, в которых хранятся ЯДМ, может произойти нейтронное взаимодействие между изделиями расположенными на стеллаже, и изделиями, расположенными в гнездах БВ и ТК. Это может привести к увеличению $K_{эфф}$.

Например, при перемещении стеллажа полностью загруженного изделиями вблизи гнезд ТК максимальное значение $K_{эфф}$ не превысило 0,93.

Были определены такие положения стеллажа, которые приводят к увеличению $K_{эфф}$. Но даже в этих случаях значения $K_{эфф}$ не превысит допустимую величину 0,95.

Ошибочное размещение дополнительной ТВС в гнезда с уже имеющимся ТВС

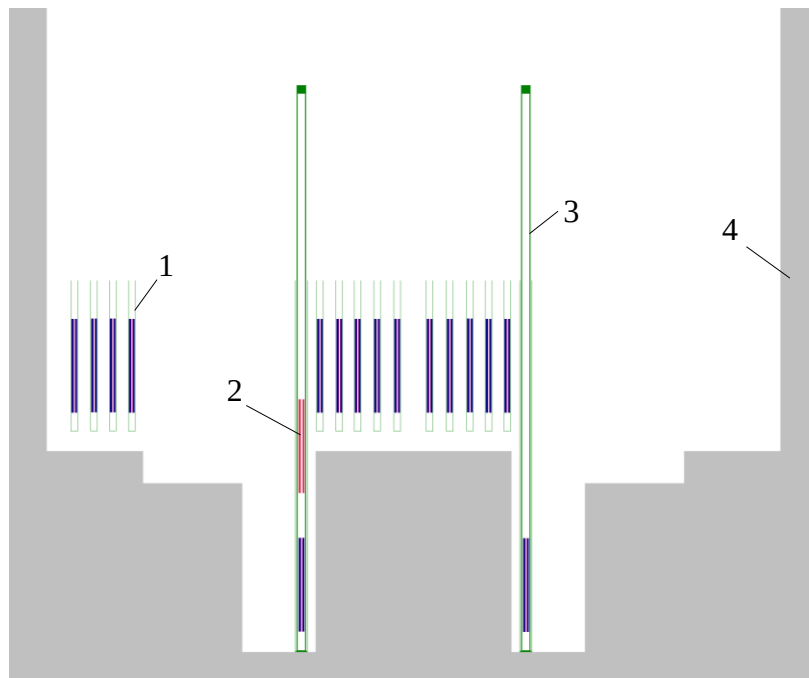


Рис.11. Продольное сечение расчетной модели системы, моделирующей ошибочную загрузку дополнительной РТВС в пенал к уже имеющейся РТВС:

1 – ячейка с РТВС; 2 – РТВС загруженная по ошибке;
3 – пенал для негерметичной РТВС; 4 – бетон

$$K_{\text{эфф}} \leq 0,37$$

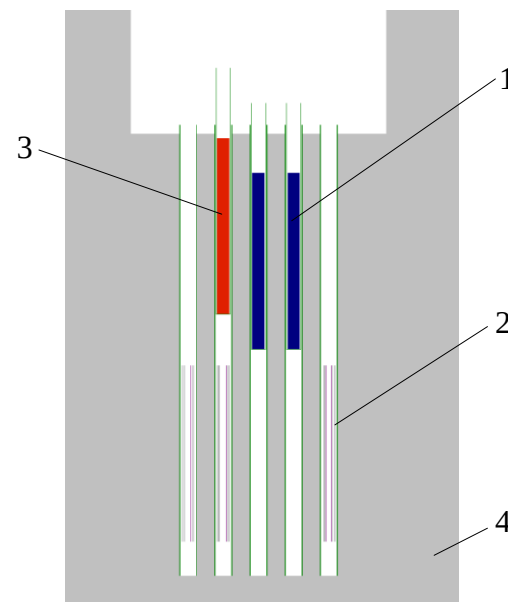


Рис.12. Продольное сечение расчетной модели системы, моделирующей ошибку персонала – постановку ведра с РТВС в гнездо, в котором уже расположена РТВС:
1 – ведро с РТВС; 2 – РТВС; 3 – ведро с РТВС загруженное по ошибке; 4 – бетон.

$$K_{\text{эфф}} \leq 0,91$$

Падение изделий при транспортировании

При анализе рассматривали падение изделий при их транспортировании на дно БВ и ТК. В случае падения чехлов предполагали возможным высыпание изделий из них. Упавшие изделия располагали различным образом (вертикально, горизонтально, над разными группами гнезд с ЯДМ, а также рядом с ними) и определяли их положения, при которых достигаются максимальные значения $K_{эфф}$.

При падении одиночного изделия максимальное значение $K_{эфф}$ не превысило 0,91, а при высыпании изделий из чехла – 0,94.

Результатами расчетов подтверждено, что даже при самых неблагоприятных геометриях размещения упавших изделий значения $K_{эфф}$ не превысят допустимую величину 0,95.

После хранения ОЯТ в течение определенного периода времени рабочие ТВС загружают в чехлы и отправляют в центральное хранилище АО «ГНЦ НИИАР», а петлевые ТВС – в радиационно-защитные камеры для проведения исследований.

В камерах ТВС разбирают на твэлы и проводят с ними необходимые исследования (осмотр, гамма-сканирование, осветление, измерение геометрических размеров и др.), затем твэлы устанавливают в маркированные кассы и отправляют на другие здания института.

В связи с большим многообразием форм и размеров существующих касс, которые рассчитаны на разное количество твэлов, путем итерационных расчетов была выбрана такая модель кассы, которая в расчетах консервативно приводит к максимальным значениям $K_{эфф}$. Затем определяли максимальное количество касс, которое можно безопасно разместить в камере с любым шагом и в любой среде (воздух, вода различной плотности), а также места их размещения.

Заключение

По результатам нейтронно-физических расчетов доказано, что ядерная безопасность при хранении и транспортировании отработавшего ядерного топлива реакторной установки МИР, а также при проведении работ в радиационно-защитных исследовательских камерах при соблюдении установленных ограничений обеспечивается как в штатных условиях, так и в рассмотренных аварийных ситуациях, связанных с изменением плотности замедлителя в БВ и ТК, нарушением порядка размещения изделий, падением изделий из-за ошибок персонала или внешних воздействий.

Ограничения установлены на количество петлевых ТВС в группе из 50-ти гнезд, а также на количество касс и места их размещения в камерах.



НИИАР

ПРЕДПРИЯТИЕ ГОСКОРПОРАЦИИ «РОСАТОМ»

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!