



НИКИЭТ  
РОСАТОМ

# Обоснование ядерной безопасности при обращении с некондиционным топливом на Курской АЭС

«Нейтронно-физические проблемы атомной энергетики», г. Обнинск

**Лебедев Сергей Сергеевич**

Инженер 2 категории

**28.05.2024-31.05.2024**

# Актуальность работы



В рамках работы по выводу из эксплуатации реакторов РБМК-1000 первой очереди Курской АЭС требуется выгрузить отработавшее топливо из активной зоны в бассейн выдержки (БВ) и осуществить перевозку отработавших тепловыделяющих сборок (ОТВС), в том числе некондиционные ОТВС (НОТВС), в хранилище отработавшего ядерного топлива (ХОЯТ). Обоснование ядерной безопасности при обращении с ОТВС является важнейшим этапом работ по переводу топлива в ХОЯТ.

# Некондиционное топливо

Некондиционная ОТВС – негерметичная или поврежденная ОТВС, требующая особой технологии при обращении с ней, имеет различные дефекты, которые препятствуют их транспортировке с энергоблока в ХОЯТ с использованием штатной технологии.

На хранении в БВ энергоблоков №1-4 Курской АЭС находятся НОТВС, признанные отказавшими при эксплуатации по следующим причинам:

- повреждение конструкции – подлежат разделке и ампулированию,
- заклинивание в пенале или технологическом канале (ТК) – подлежат разделке и ампулированию,
- негерметичность оболочек твэлов (без прочих повреждений конструкции) – перевод негерметичных ОТВС (НГОТВС) в ХОЯТ без разделки.

# Основные этапы и моменты в работе

Проведены следующие этапы анализа ядерной безопасности:

- ⦿ анализ ядерной безопасности в БВ ГК,
- ⦿ анализ ядерной безопасности в внутриобъектовом транспортном упаковочном комплекте (ВТУК),
- ⦿ анализ ядерной безопасности в БВ ХОЯТ.

Основные две группы топлива, которые влияют на схемы размещения НГОТВС и ампулированного НОЯТ в БВ ГК и БВ ХОЯТ, при этом реактивность топлива из группы 1 превышает реактивность топлива из группы 2:

- группа 1 – топливо с обогащением 3,6 % по  $^{235}\text{U}$ , наиболее реактивное топливо в группе – топливо с обогащением 3,6 % по  $^{235}\text{U}$ ,
- группа 2 – топливо с обогащением по  $^{235}\text{U}$  2,4 %, 2,0 %, 1,8 %, 2,6 % + 0,41 %Er, 2,8 % + 0,6 %Er, наиболее реактивное топливо в группе – топливо с обогащением 2,4 % по  $^{235}\text{U}$ .



## Используемые средства и методики

С помощью аттестованного прецизионного программного комплекса MCU-RFFI/A с библиотекой MCUDAT-1.0 проведена оценка предельного значения эффективного коэффициента размножения нейтронов ( $K_{эф}$ ) при обращении с некондиционным топливом на Курской АЭС.

Согласно аттестационному паспорту, погрешность определения  $K_{эф}$  для холодных водо-водяных систем с низкообогащенным (до 5 %) урановым топливом составляет  $\pm 0,003$ .

Основными нормативными документами, в соответствии с которыми анализировались вопросы безопасности:

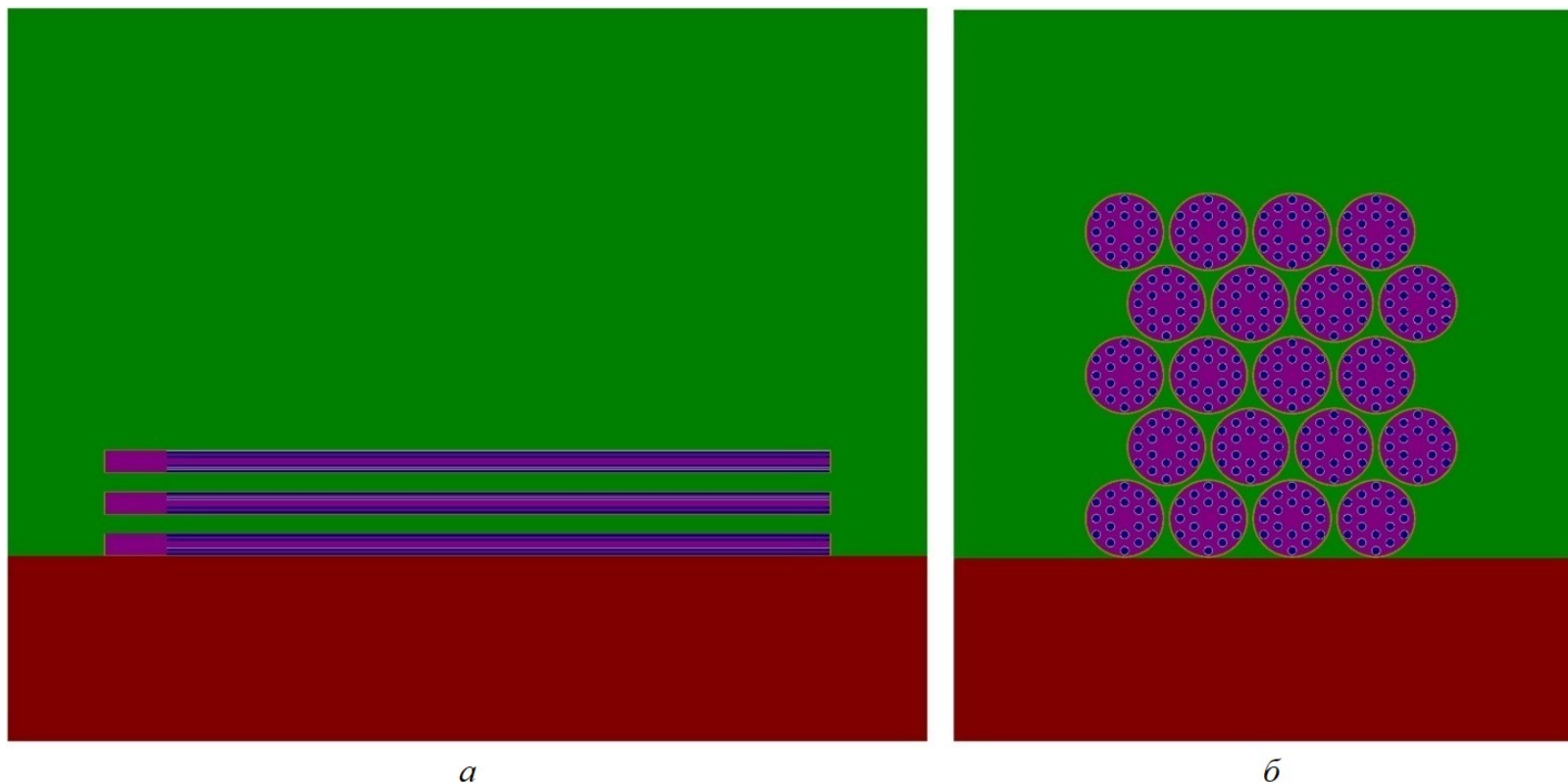
- Правила безопасности при хранении и транспортировании ядерного топлива на объектах использования атомной энергии НП-061
- Общие положения обеспечения безопасности атомных станций НП-001.

Расчёты включали в себя вариацию шага расположения ТВС, плотности воды внутри и снаружи топлива, погрешности определения обогащения, а также допуски при изготовлении ядерного топлива с целью обеспечить наиболее консервативную оценку  $K_{эф}$  - п.3.3 и п.3.6 НП-061.

# Результаты расчётов в БВ ГК



Максимальный  $K_{эф}$  не превышает 0,93 (плотность воды в ампулах и БВ ГК составляет  $1,0 \text{ г/см}^3$ ), при этом следует ограничить максимальное количество ампул, одновременно находящихся в БВ ГК, в количестве не более 20, в таком случае критерий ядерной безопасности не будет нарушен.



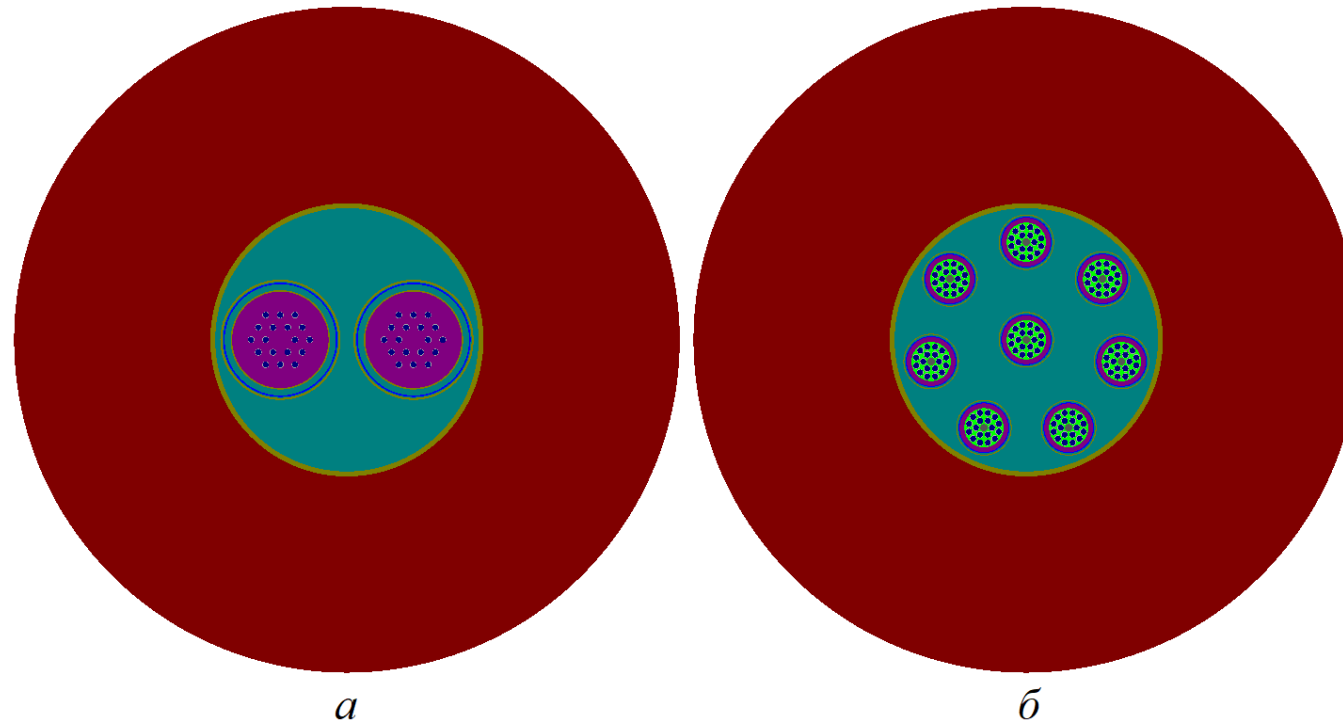
а – продольное сечение; б – поперечное сечение

Расчётная модель падения ампул АГ120 на дно БВ ГК (топливо из группы 1)

# Результаты расчётов во ВТУК



- Максимальный  $K_{эф}$  для ВТУК, заполненного 2 ампулами не превышает 0,57 (плотность воды в ампулах составляет 1,0 г/см<sup>3</sup>, в контейнере воздушная среда).
- Максимальный  $K_{эф}$  для ВТУК, заполненного 8 НГОТВС не превышает 0,59 (плотность воды в пеналах составляет 1,0 г/см<sup>3</sup>, в контейнере воздушная среда).

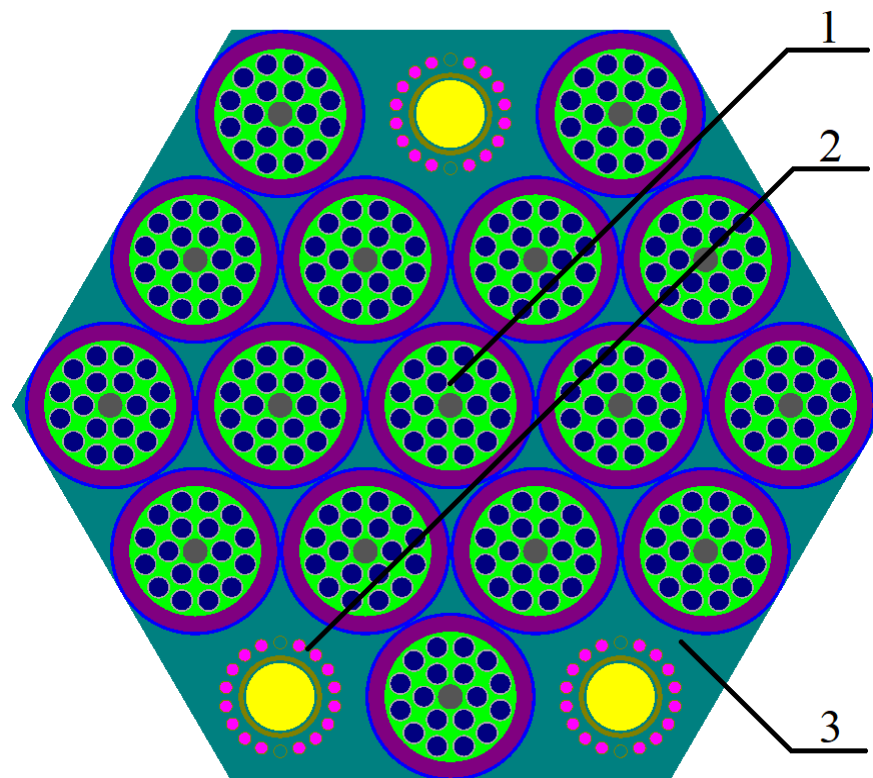


а – поперечное сечение ВТУК с ампулами; б – поперечное сечение ВТУК с НГОТВС

Расчётная модель ВТУК (топливо из группы 1)

# Результаты расчётов в БВ ХОЯТ

Максимальный расчётный  $K_{эф}$  не превышает 0.94 (плотность воды в НГОТВС и БВ ХОЯТ составляет 1,0 г/см<sup>3</sup>), при этом для бесконечной системы, где на 16 НГОТВС топлива из группы 2, приходится три кластерных ДП, критерий ядерной безопасности не будет нарушен.



1 – НГОТВС обогащением 2,45 % по <sup>235</sup>U; 2 – кластерный ДП; 3 – воздух в БВ ХОЯТ  
Расчётная модель размещения пеналов с НГОТВС и кластерных ДП в БВ ХОЯТ



# Схемы размещения топлива в БВ ГК

## Схемы размещения топлива в БВ ГК с требованиями к окружению и выгоранию

№	Центральный объект (НОЯТ из группы 1 или группы 2)	Равномерно распределенное окружение (НОЯТ из группы 2), шт		Выгорание окружения, МВт·сут/(кг U)	ОДП, шт
		Пенал с АГ	Пенал с НГОТВС		
1	Пенал с НГОТВС	0	18	10, не менее	0
2	Пенал с НГОТВС	0	14	не регламентируется	4

## Схемы размещения топлива в БВ ГК без требований к окружению и выгоранию

№	Равномерно распределенное НОЯТ из группы 2 и ОДП		
	АГ	НГОТВС	ОДП, шт
1	0	16	3

Необходимо ограничить максимальное количество ампул, одновременно находящихся в БВ ГК, в количестве не более 20.

# Схемы размещения топлива в БВ ХОЯТ

## Схемы размещения топлива в БВ ХОЯТ с требованиями к окружению и выгоранию

№	Центральный объект (НОЯТ из группы 1 или группы 2)	Равномерно распределенное окружение (НОЯТ из группы 2), шт		Выгорание окружения, МВт·сут/(кг U)	ОДП, шт
		Пенал с АГ	Пенал с НГОТВС		
1	Пенал с АГ	6	12	10, не менее	0
2	Пенал с АГ	6	8	не регламентируется	4
3	Пенал с НГОТВС	0	18	10, не менее	0
4	Пенал с НГОТВС	0	14	не регламентируется	4

## Схемы размещения топлива в БВ ХОЯТ без требований к окружению и выгоранию

№	Равномерно распределенное НОЯТ из группы 2 и ОДП		
	АГ	НГОТВС	ОДП, шт
1	7	9	3
2	0	16	3

# Спасибо за внимание

**Лебедев Сергей Сергеевич**

Инженер 2 категории

29.05.2024