

СРАВНИТЕЛЬНЫЕ НЕЙТРОННО-ФИЗИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ КОНСТРУКЦИЙ БЛОКА ДЕТЕКТИРОВАНИЯ УСТАНОВКИ КОНТРОЛЯ ГЛУБИНЫ ВЫГОРАНИЯ ОТРАБОТАВШЕГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА

А. А. Кучмагра, О. С. Молчанов, Г. И. Одинокин, В. Н. Павлович, А. В. Поднебесный

Институт проблем безопасности АЭС НАН Украины, Чернобыль

Приведены сравнительные характеристики модельных расчетов и экспериментальных данных, полученных при испытании прототипа установки контроля глубины выгорания (УОКВ) отработавших тепловыделяющих сборок (ОТВС) ВВЭР-1000 на Запорожской АЭС. С помощью математического моделирования нейтронных потоков вблизи ОТВС ВВЭР-1000 в бассейне выдержки в программном комплексе MCNP-4с получен ряд результатов, который использован для дальнейшего усовершенствования УОКВ.

Ключевые слова: отработавшее ядерное топливо, контроль глубины выгорания, ядерная безопасность, нейтронная радиометрия, ВВЭР-1000, MCNP.

Введение

Обоснование ядерной безопасности хранения ОТВС в сухом хранилище отработавшего ядерного топлива (СХОЯТ) на Запорожской АЭС (ЗАЭС) может проводиться как с учетом, так и без учета глубины выгорания отработавшего ядерного топлива (ОЯТ).

При реализации топливной загрузки вентилируемых контейнеров хранения (ВКХ) СХОЯТ без учета глубины выгорания, на этапе обоснования ядерной безопасности загрузки и расчета $K_{эф}$, ОЯТ рассматривается как свежее, что приводит к завышению расчетных значений $K_{эф}$ топливной загрузки по сравнению с реальными и, как следствие, к ограничениям по количеству загружаемых ОТВС.

Учет глубины выгорания ОЯТ позволяет избежать ограничений по количеству загружаемых ОТВС. При этом в соответствии с «Правилами безопасности при хранении и транспортировке ядерного топлива на объектах атомной энергетики» ПНАЭГ-14-029-91 ядерная безопасность загрузки обеспечивается «...контролем глубины выгорания ЯТ ... с помощью установок контроля глубины выгорания перед помещением ЯТ в хранилище» [1].

В настоящее время при топливной загрузке ВКХ применяется прибор FDET [2], показания которого используются инспекторами МАГАТЭ для контроля нераспространения ядерных материалов. Этот прибор позволяет измерять скорость счета нейтронов, излучаемых ОТВС, непосредственно в бассейне выдержки в процессе их загрузки. Изначально показания FDET не планировалось применять для верификации глубины выгорания ОЯТ, но по мере накопления базы данных результатов измерений по ОТВС, находящихся в СХОЯТ, были предложены и внедрены на ЗАЭС «Методические указания по выполнению контроля глубины выгорания отработавшего ядерного топлива на этапе реализации загрузки ВКХ СХОЯТ» [3].

В [3] применен метод контроля глубины выгорания ОЯТ, который основывается на нейтронной радиометрии. Преимущества метода перед другими неразрушающими методами контроля глубины выгорания (например, на основе гамма-спектрометрии по собственной активности ^{137}Cs , отношению активностей $^{134}\text{Cs} / ^{137}\text{Cs}$ и т.д.) заключаются в его высокой чувствительности, простоте и надежности технических средств, оперативности [4]. В отличие от метода гамма-спектрометрии нейтронные измерения могут проводиться практически сразу после извлечения ОТВС из реактора. Среди компонентов топлива – источников нейтронов в ОТВС – преобладают долгоживущие нуклиды, что позволяет контролировать выгорание при любых временах выдержки, представляющих практический интерес.

Однако прибор FDET не отвечает в полной мере действующим в Украине нормативным требованиям к аппаратуре нейтронной радиометрии (отсутствие возможности проводить техническое диагностирование работоспособности, оперативный контроль основных

технических характеристик, отсутствие метрологического обеспечения и процедур калибровки оборудования). Поэтому в письме ГКЯРУ № 14-16/3727 от 13 июля 2007 г., направленного в адрес НАЭК «Энергоатом», указывается на актуальность создания технических средств контроля глубины выгорания для эксплуатации на АЭС Украины в соответствии с требованиями к аппаратуре ядерного приборостроения для атомных станций.

При проектировании и изготовлении технических средств контроля глубины выгорания необходимо выполнить следующие условия:

с целью идентичности показаний при пополнении существующей базы данных по ОТВС СХОЯТ вновь создаваемые технические средства должны иметь эффективность регистрации нейтронного потока, близкую к эффективности регистрации прибора FDET;

для получения более точной оценки глубины выгорания необходимо минимизировать погрешности измерения нейтронного потока, в том числе и погрешность, вызванную неточностью позиционирования штанги перегрузочной машины (ПМ), в которой находится измеряемая ОТВС.

Для достижения поставленных целей требовалось провести моделирование нейтронного поля вблизи ОТВС, находящейся в бассейне выдержки, сопоставить полученные результаты с экспериментальными данными и сравнить расчетные характеристики различных конструкций блока детектирования.

Теоретические основы расчетов

Для проведения аналитических расчетов нейтронного поля вблизи ОТВС ВВЭР-1000 остановимся на следующей модели. Комплекс ОТВС вместе со штангой ПМ представлен как гомогенизированный бесконечный цилиндр, находящийся в воде с бором. Пространственное распределение плотности потока нейтронов $\Phi(\vec{r}, t)$ вблизи штанги ПМ (где и проводятся измерения нейтронного поля) можно определить с помощью решения одногруппового диффузионного уравнения в стационарном режиме $\frac{\partial \Phi(\vec{r}, t)}{\partial t} = 0$ [5]:

$$-D\Delta\Phi + \Sigma_a\Phi = K_\infty\Sigma_a\Phi + Q_s, \quad (1)$$

где Δ – оператор Лапласа (*div grad*); $Q_s = \text{const}$ – мощность источников спонтанного деления; K_∞ – коэффициент размножения для бесконечной среды; Σ_a – макроскопическое сечение поглощения; D – коэффициент диффузии.

Стандартная схема решения уравнения (1) следующая: уравнение решается в размножающей и в замедляющей областях, и решения «сшиваются» с учетом непрерывности потока нейтронов на границе раздела. Общее решение уравнения (1) в цилиндрической геометрии с учетом граничных условий будет иметь вид

$$\Phi_{\text{ОТВС}}(r) = \frac{\chi K_0(\chi R_0) Q_s}{B^2 D_{\text{ОТВС}} (\chi J_0(BR_0) K_1(\chi R_0) - J_1(BR_0) K_0(\chi R_0) B)} J_0(Br) - \frac{Q_s}{B^2 D_{\text{ОТВС}}}, \quad (2)$$

$$\Phi_B(r) = \frac{\chi J_1(BR_0) Q_s}{B D_{\text{ОТВС}} (\chi J_0(BR_0) K_1(\chi R_0) - J_1(BR_0) K_0(\chi R_0) B)} K_0(\chi r), \quad (3)$$

где $\Phi_{\text{ОТВС}}(r)$ – плотность потока нейтронов внутри ОТВС; $\Phi_B(r)$ – плотность потока нейтронов в воде бассейна вне ОТВС; $\chi^2 = \frac{\Sigma_a^B}{D_B}$, индекс «В» относится к воде;

$B^2 = \frac{(1 - K_\infty)\Sigma_a^{\text{ОТВС}}}{D_{\text{ОТВС}}}$; $J_n(Br)$, $I_0(Br)$ – функции Бесселя 1-го рода n-го порядка; $K_n(\chi r)$ – функция Макдональда n-го порядка; R_0 – радиус гомогенизированного цилиндра; r – расстояние от оси цилиндра [5].

При проведении измерений в бассейне выдержки, детектор размещается на расстояниях больше чем 25 см, а в этом случае, как показывают оценки, мы можем воспользоваться асимптотическим представлением для функции Макдональда при $r \rightarrow \infty$. Тогда

$$\Phi_B(r) = C \frac{e^{-\chi r}}{\sqrt{r}}, \quad (4)$$

где $C = \frac{\chi J_1(BR_0) Q_s}{BD_{OTBC} (\chi J_0(BR_0) K_1(\chi R_0) - J_1(BR_0) K_0(\chi R_0) B)} \sqrt{\frac{\pi}{2\chi}}$.

Сравнительные расчеты для $25 \text{ см} < r < 50 \text{ см}$ показывают, что относительная ошибка при вычислении плотности потока нейтронов $\Phi_B[r]$ при аппроксимации формулами (3) и (4) составляет всего 0,5 %, что говорит о возможности применения аппроксимирующей функции в виде формулы (4) для обработки экспериментальных данных.

Моделирование однодетекторной схемы на MCNP

Математическое моделирование проводилось методом Монте-Карло с помощью программного комплекса MCNP v.4c на кластере из четырех компьютеров.

Рассматриваемая при моделировании геометрия измерений (рис. 1) соответствует геометрии измерений при испытании прототипа УОКВ на ЗАЭС. На рисунке показаны телескопическая штанга ПМ с размещенной в ней ОТВС и «сухой» канал (водонепроницаемая труба $\varnothing 76 \text{ мм}$) с размещенным в нем блоком детектирования.

Однодетекторная схема состоит из ОТВС ВВЭР-1000, «сухого» канала, блока детектирования с камерой деления КНТ-31, которая помещена в полиэтиленовый «утеплитель» толщиной 1,45 см. ОТВС и «сухой» канал находятся в бассейне выдержки (концентрация борной кислоты в воде бассейна выдержки $17,3 \text{ г/дм}^3$). Для уменьшения влияния борированной воды на эффективность регистрации нейтронного потока «сухой» канал с внешней стороны окружен дополнительным полиэтиленовым «утеплителем» толщиной 3,0 см.

Для математического моделирования секция ОТВС, представлена как цилиндр (диаметр 28 см, высота 353 см), который разбит на 10 равных слоев по высоте. Гомогенизация проводилась отдельно для каждого из 10 слоев. При фиксированном среднем выгорании всего ОТВС для каждого отдельного слоя, согласно [6], определялось относительное выгорание в слое, т.е. выгорание в слое нормировалось на среднее выгорание всей ОТВС (табл. 1).

Таблица 1. Относительный аксиальный профиль выгорания ОТВС

№ слоя	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Относительный коэффициент выгорания	0,65	1	1	1	1	1	1	1	0,73	0,42

Распределение источников нейтронов в каждом отдельно взятом слое ОТВС принималось равномерным по всему объему слоя. Источниками нейтронов считались нейтроны спонтанного деления ^{242}Cm , ^{244}Cm , ^{240}Pu . Нуклидный состав ОТВС задавался согласно [6].

Основные входные данные при расчетах

Среднее выгорание ОТВС, МВт·сут/кг урана	50
Начальное обогащение ОТВС UO_2 , %	4,4
Концентрация борной кислоты в воде, г/дм^3	17,3
Толщина «утеплителя» в блоке детектирования, см	1,45
Толщина внешнего «утеплителя» «сухого» канала, см	3,0
Диапазон энергий тепловых нейтронов, МэВ	от 0 до $4,0 \cdot 10^{-7}$

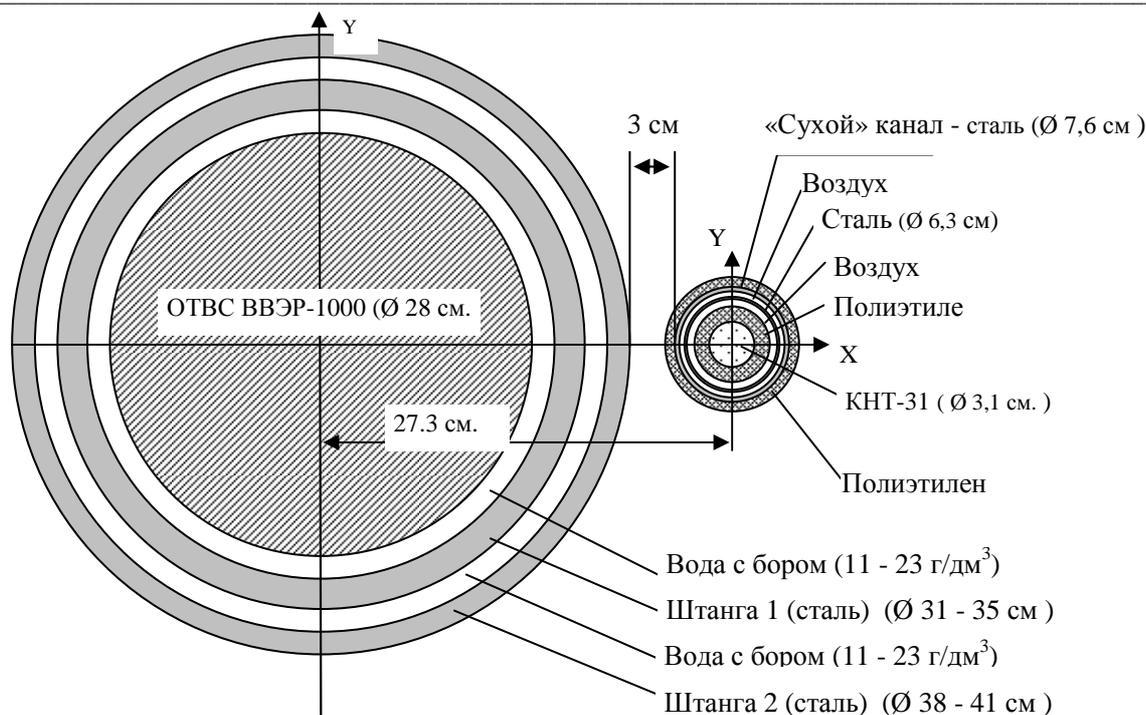


Рис. 1. Расположение ОТВС в штанге ПМ и блока детектирования с камерой деления КНТ-31 при моделировании потока нейтронов.

В результате расчетов была получена зависимость скорости счета нейтронов от расстояния между детектором и ОТВС, которая была аппроксимирована функцией вида (4) по методу наименьших квадратов. График зависимости приведен на рис. 2.

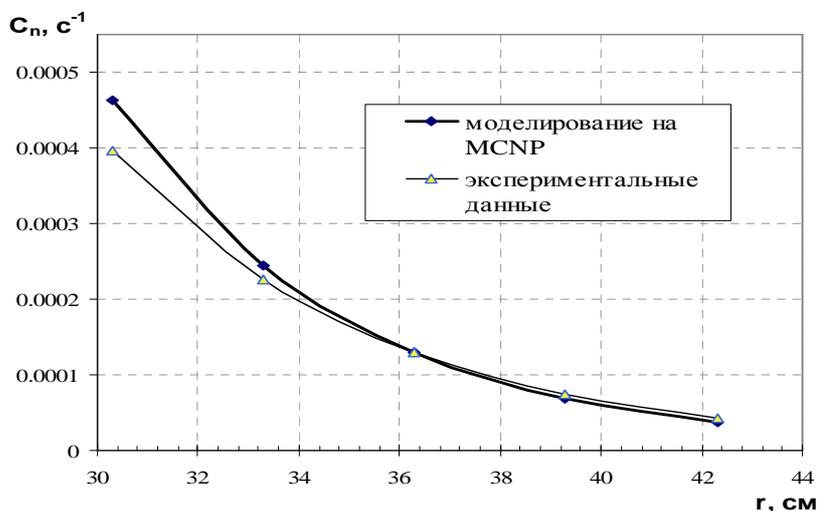


Рис. 2. Аппроксимирующие кривые по данным эксперимента и при моделировании на MCNP.

Аппроксимация экспериментальных данных и сравнение их с моделированием на MCNP

Испытания прототипа УОКВ проводились в ноябре 2007 г. на энергоблоке № 3 ЗАЭС. Результаты измерений приведены в табл. 2. Геометрия измерений соответствовала ситуации, представленной на рис. 1.

Таблица 2. Результаты измерения скорости счета нейтронов реперной ОТВС

Расстояние между осью ОТВС и осью детектора, см	30,3	33,3	36,3	39,3	42,3
Время измерения, с	404	187	180	128	175
Число импульсов, N	14558	4305	2188	853	726
Скорость счета, с ⁻¹	36,0 ± 0,6	23,0 ± 0,7	12,2 ± 0,5	6,7 ± 0,5	4,1 ± 0,3

Сравнение экспериментальных данных (аппроксимация функцией вида $C \frac{e^{-\chi r}}{\sqrt{r}}$) с данными, полученными при моделировании на MCNP, представлены на рис. 2. Различие между экспериментальными и расчетными данными не превышает 15 %, а в среднем по всем точкам не превышает 9 %. Вообще говоря, такая точность для нейтронных измерений является более чем приемлемой, не говоря о том, что ошибка позиционирования штанги ПМ ± 3 мм может привести к указанной погрешности нейтронных измерений.

Расчетные данные нормированы на один нейтрон источника. Экспериментальные данные нормировались на средневзвешенный коэффициент, полученный из соотношения расчетных и экспериментальных значений в каждой точке.

Формула (4) с полученными по методу наименьших квадратов значениями параметров имеет следующий вид:

$$\begin{aligned}
 \text{MCNP} \quad \Phi_B(r) &= C \frac{e^{-\chi r}}{\sqrt{r}} = 0.977 \frac{e^{-0.196401 r}}{\sqrt{r}}; \\
 \text{эксперимент} \quad \Phi_B(r) &= C \frac{e^{-\chi r}}{\sqrt{r}} = 0.401 \frac{e^{-0.17207 r}}{\sqrt{r}} \quad \Phi_B[r] = C \frac{e^{-\chi r}}{\sqrt{r}}.
 \end{aligned}$$

Исходя из результатов сопоставления модельных расчетов и данных эксперимента, следует сделать вывод о применимости модельных расчетов с привлечением MCNP для анализа изменения скорости счета нейтронов от блока детектирования прототипа УОКВ в бассейне выдержки при различной геометрии измерений нейтронного потока от ОТВС.

Моделирование на MCNP. Зависимость скорости счета нейтронов от толщины и формы внешнего "утеплителя" детектора. Одндетекторная схема

Детектором нейтронного излучения в прототипе УОКВ служит ионизационная камера деления КНТ-31, заключенная в полиэтиленовый «утеплитель». Основной вклад в эффективность КНТ-31 дают нейтроны «тепловой» части спектра (от 0 до 0,4 эВ). Поэтому эффективность регистрации нейтронов УОКВ зависит от толщины и формы полиэтиленового «утеплителя», в который заключена камера деления КНТ-31. Внутри блока детектирования КНТ-31 окружена «утеплителем» толщиной 1,45 см. Задача этой части моделирования – оценить влияние внешнего «утеплителя» «сухого» канала, окружающего блок детектирования на эффективность регистрации нейтронов.

Рассмотрим два варианта внешней формы полиэтиленового «утеплителя» – цилиндр и параллелепипед.

С помощью моделирования на MCNP была получена зависимость скорости счета нейтронов от толщины внешнего «утеплителя» при фиксированном расстоянии между осями ОТВС и детектора (расстояния между осями ОТВС и детектора фиксировано 30,3 см.).

На рис. 3 видно, что при увеличении толщины утеплителя до 4 см, наблюдается повышение скорости счета нейтронов, которое можно объяснить наличием двух составляющих роста. С одной стороны – это увеличение толщины «утеплителя», что вызывает более эффек-

тивное трансформацию энергетического спектра излучаемых нейтронов от ОТВС в тепловую область, с другой – уменьшение слоя борированной воды между ОТВС и КНТ-31. В диапазоне толщин утеплителя от 4 см (толщина слоя борированной воды составляет 2 см) до 6 см (случай касания поверхности внешней штанги ПМ с поверхностью утеплителя) рост скорости счета нейтронов за счет уменьшения слоя борированной воды компенсируется возрастающим эффектом поглощения нейтронов в толще полиэтилена, расположенного вокруг КНТ-31.

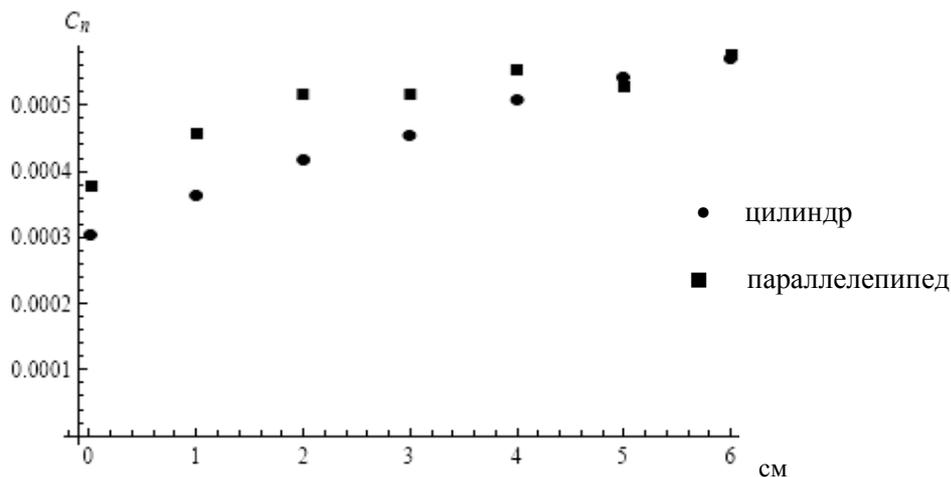


Рис. 3. Изменение скорости счета нейтронов C_n при изменении толщины внешнего "утеплителя".

Также был смоделирован случай (рис. 4), где скорость счета нейтронов есть функция толщины внешнего «утеплителя» при условии, что расстояние между осями ОТВС и детектора изменяется в соответствии с изменением толщины внешнего "утеплителя", при этом расстояние между внешней штангой ОТВС и внешней гранью "утеплителя" равно нулю. Анализируя представленные на рис. 3 и 4 зависимости, можно сделать следующие выводы:

скорость счета нейтронов для геометрии измерений с «утеплителем» формы цилиндр ниже по отношению к «утеплителю» формы параллелепипед в области толщины «утеплителя» до 6 см. Особенно отмечается различие расчетных значений скорости счета нейтронов до толщины 2,5...3 см. Это, вероятно, связано с несколько большим объемом вытесняемой борированной воды утеплителем формы параллелепипед. По мере удаления от источника нейтронов эффект различия скорости счета уменьшается;

понижение скорости счета для приведенных двух геометрий измерения наблюдается при увеличении толщины «утеплителя» свыше 1,6 см (см. рис. 4). Этот эффект связан с удалением КНТ-31 от источника нейтронов – ОТВС. В области значений толщины «утеплителя» до 1,6 см происходит взаимная компенсация уменьшения скорости счета за счет удаления КНТ-31 и увеличение скорости счета за счет увеличения объема «утеплителя», вызывающего более эффективное преобразование энергии нейтронов в тепловую область.

Общий вывод по полученным расчетным данным с точки зрения получения максимальной эффективности регистрации нейтронного потока:

наилучшей формой внешнего «утеплителя» является параллелепипед;

позиционирование штанги ПМ с ОТВС и положение блока детектирования должно предусматривать минимально возможное между ними расстояние;

толщина внешнего «утеплителя» не должна превышать 1,6 см, при этом оптимальная суммарная толщина «утеплителя» (внешний + внутренний блока детектирования) не должна превышать 3,0 – 3,5 см.

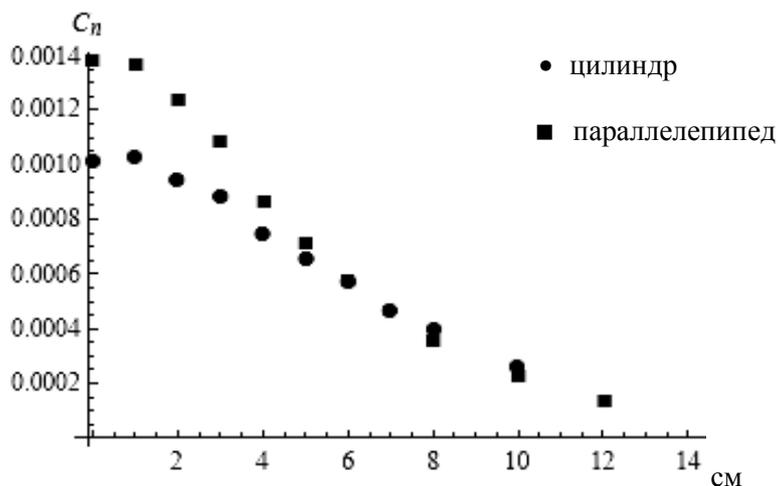


Рис. 4. Изменение скорости счета нейтронов при изменении толщины внешнего «утеплителя» для цилиндра и параллелепипеда (расстояние между осями ОТВС и детектора – переменная, расстояние между внешней штангой ОТВС и поверхностью внешнего «утеплителя» - const = 0 см).

Моделирование на MCNP 2-х детекторной схемы.

Сравнение вертикального и горизонтального расположения детекторов

Рассмотрим двухдетекторную схему вертикального расположения детекторов (рис. 5). Форма «утеплителя» - параллелепипед. При вертикальном расположении продольные оси детекторов расположены параллельно. Расстояние между осями 1-го и 2-го детекторов в каждом случае строго фиксируется.

С помощью расчетов на MCNP было проанализировано изменение суммарной скорости счета нейтронов системы 2-х детекторов в зависимости от изменения параметра δ . Результаты расчетов (для различных l) представлены на рис. 6. Как видно из графиков, наблюдается очевидное и значительное уменьшение суммарной скорости счета нейтронов при увеличении расстояния между блоками детектирования. Так, при $l/2 = 11$ см суммарная скорость счета нейтронов по сравнению со случаем $l/2 = 6$ см (в обоих случаях при $\delta = 0$) уменьшается почти в полтора раза. Однако при $l/2 = 11$ см при изменении δ линейный участок суммарной скорости счета максимален: $\delta = \pm 8$ см. При этом, если учесть что погрешность позиционирования штанги ПМ составляет 0,5 см, то вызванная этим погрешность скорости счета не будет превышать 0,1 % при изменении δ в диапазоне ± 8 см. При $l/2 = 6$ см погрешность скорости счета не будет превышать 1 % при изменении δ в диапазоне ± 2 см.

Кроме вертикального расположения двух детекторов рассмотрим также вариант их горизонтального расположения. В этом случае оси детекторов перпендикулярны оси ОТВС (рис. 5, где h – длина детектора КНТ-31, равная 20,5 см, $p = 9.6$ см – длина грани основания «утеплителя» формы параллелепипед).

Как видно из рис. 6, при вертикальном положении блока детектирования скорость счета может быть достигнута более высокой, чем при горизонтальном. Кроме того, при вертикальном расположении детекторов на кривой зависимости скорости счета от смещения можно получить практически горизонтальный участок (но с потерей счетности), что может быть полезным для компенсации неточности позиционирования штанги ПМ.

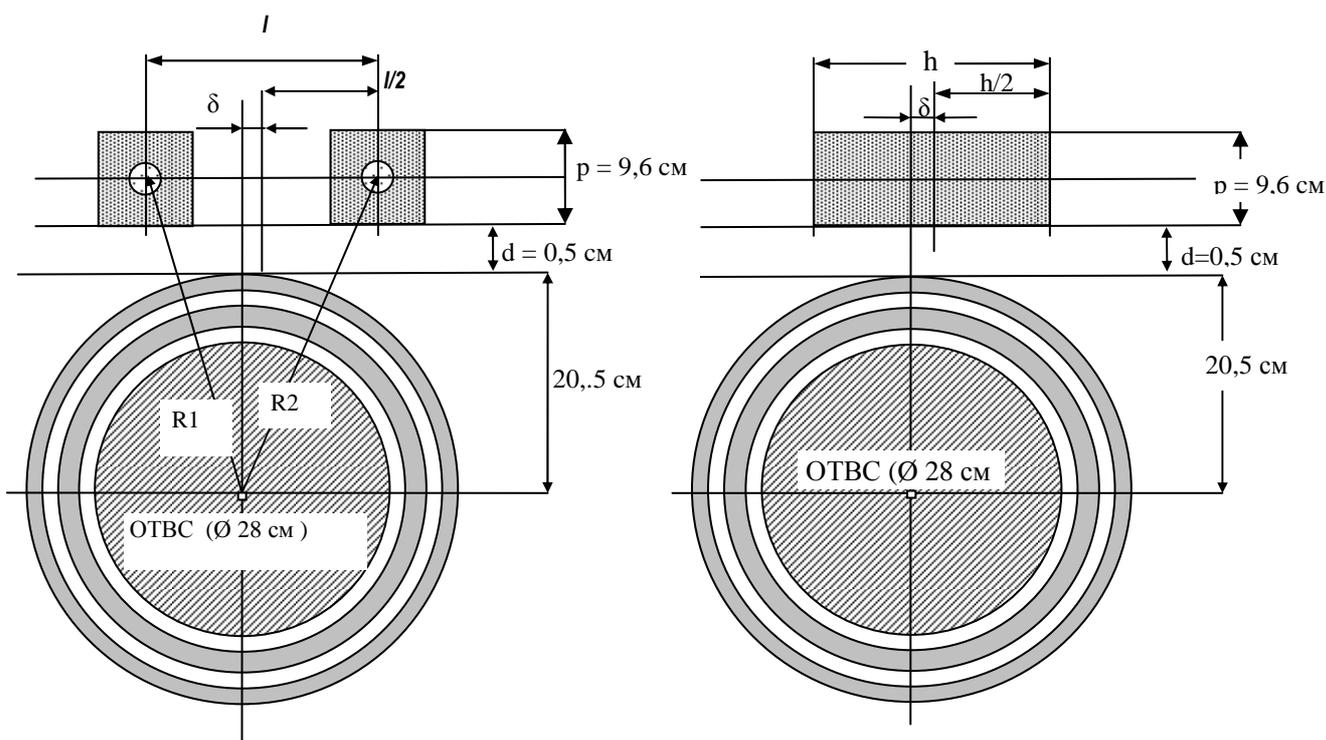


Рис. 5. ОТВС ВВЭР-1000 и два детектора вертикального и горизонтального расположения: l - расстояние между осями 1-го и 2-го детекторов, δ - возможное отклонение позиционирования штанги ПМ.

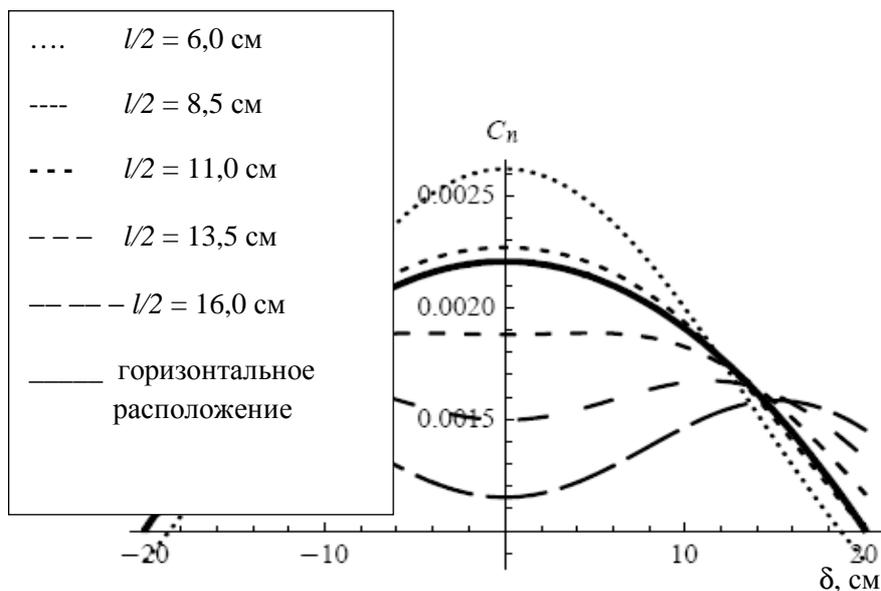


Рис. 6. Изменение скорости счета нейтронов 2-х детекторной схемы.

Выводы

В результате проведенных расчетов и сравнения их результатов с экспериментальными данными следует рекомендовать применить в УОКВ вертикальное расположение блоков детектирования с «утеплителем» формы параллелепипед. Такая схема является более гибкой и позволяет либо увеличить суммарную скорость счета нейтронов, а значит, уменьшить статистическую ошибку (при заданном времени измерения), либо устранить влияние неточности позиционирования штанги ПМ (но с некоторой потерей скорости счета). Двух-

детекторная схема УОКВ также является более предпочтительной перед однодетекторной схемой, поскольку, кроме увеличения скорости счета, на ней в перспективе можно реализовать корреляционную методику измерения выгорания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ПНАЭ Г-14-029-91. Правила безопасности при хранении и транспортировке ядерного топлива на объектах атомной энергетики.
2. 00.ОБ.УУ.ТР 7615 А. Техническое решение от 14.12.2004. Об использовании выгорания ядерного топлива ВВЭР-1000 в качестве параметра обеспечивающего ядерную безопасность при реализации топливных загрузок ВКХ СХОЯТ ЗАЭС (постоянная эксплуатация). ОП ЗАЭС.
3. 00.ОБ.УУ.МУ.05А. Методические указания по выполнению контроля глубины выгорания отработавшего ядерного топлива на этапе реализации загрузки ВКХ СХОЯТ.
4. Кучмагра А.А., Молчанов О.С., Одинокін Г.И. и др. Учет глубины выгорания отработавшего ядерного топлива при эксплуатации сухого хранилища на Запорожской АЭС // Проблемы безпеки атомних електростанцій і Чорнобиля. – 2008. – Вип. 10 – С. 20 - 31.
5. Галанин Е.Д. Введение в теорию ядерных реакторов на тепловых нейтронах. - М. Энергоатомиздат, 1988. - 500 с.
6. Анализ безопасности СХОЯТ с учетом аксиального профиля распределения выгорания: (Отчет)/ «ФИЗАР». - К., 2006. - С. 69.

ПОРІВНЯЛЬНІ НЕЙТРОННО-ФІЗИЧНІ РОЗРАХУНКИ КОНСТРУКЦІЙ БЛОКА ДЕТЕКТУВАННЯ УСТАНОВКИ КОНТРОЛЮ ГЛИБИНИ ВИГОРЯННЯ ВІДПРАЦЬОВАНОГО ЯДЕРНОГО ПАЛИВА

О. О. Кучмагра, О. С. Молчанов, Г. І. Одинокін, В. М. Павлович, О. В. Піднебесний

Наведено порівняльні характеристики модельних розрахунків та експериментальних даних, отриманих при випробуванні прототипу установки контролю глибини вигорання відпрацьованих тепловиділяючих збірок (ВТВЗ) ВВЕР-1000 на Запорізькій АЕС. За допомогою математичного моделювання нейтронних потоків поблизу ВТВЗ ВВЕР-1000 в басейні витримки в програмному комплексі MCNP-4c отримано результати, використані для подальшого удосконалення установки.

Ключові слова: відпрацьоване ядерне паливо, контроль глибини вигорання, ядерна безпека, нейтронна радіометрія, ВВЕР-1000, MCNP.

COMPARATIVE NEUTRON-PHYSICAL CALCULATIONS OF CONSTRUCTIONS DETECTION BLOCK FOR SETTING BURNUP CHECKING THE NUCLEAR SPENT FUEL

O. O. Kuchmagra, O. S. Molchanov, G. I. Odinokin, V. M. Pavlovich, O. V. Podnebesnyy

Comparative descriptions of model calculations and experimental data, got at the test of prototype of setting burnup checking spent fuel assemblies of VVER-1000 on Zaporozhia NPP are resulted in the article. By the mathematical design of neutron-fluxes near-by VVER-1000 assemblies in the pool cooling of self-control the row of results, which is utilized for the further improvement of setting, is got in a programmatic complex MCNP-4c.

Keywords: spent fuel, burnup credit, nuclear safety, neutron radiometry, VVER-1000, MCNP.

Поступила в редакцию 02.06.09