МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРГЕТИКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
Республиканское государственное предприятие на праве хозяйственного ведения
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЯДЕРНЫЙ ЦЕНТР РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН»
Филиал «Институт атомной энергии»
(Филиал «ИАЭ» РГП «НЯЦ РК»)

УДК 621.039.5

Светачев Станислав Николаевич

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЫХОДА ПРОДУКТОВ ДЕЛЕНИЯ ИЗ ТВЭЛОВ РЕАКТОРА ИВГ.1М.

Работа, представленная на XVIII конференцию-конкурс НИОКР молодых ученых и специалистов
Национального ядерного центра Республики Казахстан

(прикладные исследования)

Руководители: Попов Ю.А. заместитель начальника лаборатории нейтронной физики (241), Котов В.М. главный специалист по физике реакторов

г. Курчатов, 2020 г.

АВТОР

Светачев Станислав Николаевич

инженер лаборатории нейтронной физики, Филиала «Институт атомной энергии» РГП «НЯЦ РК»,
Год рождения –1996
образование высшее (окончил Томский политехнический университет 2018 году),
специальность – «Технология геологической разведки»,
квалификация по диплому – горный инженер геофизик.
работает с 2019 года в лаборатории нейтронной физики (241),
общий стаж работы – 1 год

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Заместитель начальника лаборатории 241 подпись, дата	10.04.2020 _____	Попов Ю.А.
Младший научный сотрудник лаборатории 241 подпись, дата	10.04.2020 _____	Медетбеков Б.С.
Начальник лаборатории 241	10.04.2020 _____	Прозорова И.В.

СВЕТАЧЕВ С.Н.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЫХОДА ПРОДУКТОВ ДЕЛЕНИЯ ИЗ ТВЭЛОВ РЕАКТОРА ИВГ.1М.

Работа, представляемая на конференцию-конкурс НИОКР молодых ученых и специалистов Национального ядерного центра Республики Казахстан от филиала «ИАЭ» РГП «НЯЦ РК»

071100, г. Курчатов, ул. Красноармейская, 10,
тел. (7-322-51) 2-31-25, 2-51 (вн.)
факс (7-322-51) 2-31-25
e-mail: svetach@nnc.kz

РЕФЕРАТ

Работа содержит 27 страниц, 10 рисунков, 14 таблиц, 9 источников.

Объект исследования: характеристики выхода продуктов деления в ходе испытаний НОУ топлива реактора ИВГ.1М.

Цель работы: определение выхода продуктов деления из твэлов реактора ИВГ.1М в ходе испытаний НОУ топлива.

Задачи исследования:

- измерение гамма-спектров проб теплоносителя, взятых из спектрометрических емкостей экспериментальных ВОТК-НОУ и штатных ВОТК-ВОУ;
- расчет выхода продуктов деления по гамма-спектрометрическим данным;
- сравнение активности продуктов деления штатных и экспериментальных каналов;
- анализ относительного выхода продуктов деления.

Методика исследования: гамма-спектрометрический анализ проб теплоносителя.

Результаты работ: Получены значения выходов ПД из ВОТК. Проведен анализ полученных результатов. Анализ показал, что с учетом погрешности выход ПД из экспериментальных ВОТК-НОУ не превышает выход ПД из штатных ВОТК.

Актуальность: в рамках конверсии исследовательского реактора ИВГ.1М с ВОУ (90% ^{235}U) топлива на НОУ (19,75% ^{235}U) были проведены испытания экспериментальных водоохлаждаемых каналов с топливом низкого обогащения. Задачами испытаний являлись: опытная эксплуатация двух ВОТК-НОУ в составе существующей активной зоны (приблизительно до выгорания 1,82 г ^{235}U и флюенса 10^{18} н/см^2 на один ВОТК-НОУ); определение соответствия каналов предъявляемым техническим требованиям; получение экспериментальных данных для принятия решения об изготовлении партии штатных каналов и комплектации ими активной зоны реактора ИВГ.1М по результатам испытаний и исследований.

Практическая ценность: Проведенные исследования позволяют принять решение о комплектации активной зоны реактора ИВГ.1М новыми ВОТК-НОУ.

Личный вклад автора: в работе представлены результаты исследований, выполненных при участии самим автором. Личный вклад автора состоит в обработке, анализе, обобщении полученных результатов и формулировке выводов.

Степень завершенности работы: завершена.

Содержание

ВВЕДЕНИЕ.....5
ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ.....6
1.1 Характеристики ядерного топлива ВОУ реактора ИВГ.1М 6
1.2 Характеристики ядерного топлива НОУ 6
1.3 Характеристики ВОТК 7
1.4 Выход продуктов деления 9
2 УСЛОВИЯ И ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ 9
3 РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ 12
ВЫВОД.....16
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....17
ПРИЛОЖЕНИЕ 18

ВВЕДЕНИЕ

Международным агентством по атомной энергии, для обеспечения безопасности, было принято решение перевести все исследовательские реакторы на низкообогащенное урановое топливо, обогащение по урану не должно превышать 20%. В связи с этим на реакторе ИВГ1.М начата конверсия с высокообогащенного уранового (ВОУ) топлива на низкообогащенное (НОУ).

ИВГ.1М это исследовательский водо-водяной гетерогенный корпусной ядерный реактор на тепловых нейтронах с легководяными теплоносителем и замедлителем, и бериллиевым отражателем нейтронов. Активная зона реактора содержит 30 водоохлаждаемых технологических каналов (ВОТК). В центральной ячейке реактора расположен окруженный бериллиевым вытеснителем петлевой канал, в который возможна установка экспериментального устройства.

Тепловыделяющая сборка (ТВС) реактора ИВГ.1М состоит из тонкостенной цилиндрической обоймы, торцевых проницаемых решеток и пакета тепловыделяющих элементов (твэл) спирально-стержневых, двухлопастного профиля, уложенных по треугольной решетке и уплотненных с помощью цилиндрических заполнителей. Обогащение уран-циркониевого топлива составляет 90 %.

Переход на ВОТК-НОУ требует проведения предварительных испытаний. Для этого, в реакторе были заменены два штатных канала высокого обогащения (ВОТК-ВОУ), на два экспериментальных канала низкого обогащения ВОТК-НОУ. Полученные в ходе испытаний результаты отборов проб отражены в этой работе. Исходя, из полученных экспериментальных данных будет принято решение об изготовлении партии штатных каналов и комплектации ими активной зоны реактора ИВГ.1М.

В соответствии с программой [1] в период 2017–2019 гг. были проведены исследования активности теплоносителя в процессе испытаний экспериментальных технологических каналов ВОТК с низкообогащенным топливом (ВОТК-НОУ) в пусках реактора ИВГ.1М.

Целью исследований являлась оценка активности теплоносителя с использованием полупроводникового гамма-детектора, определение относительного выхода продуктов деления из топлива в теплоноситель экспериментальных ВОТК-НОУ №14, 24, и штатных ВОТК №18, 22 и сравнение относительного выхода продуктов деления (ПД) в теплоноситель ВОТК-НОУ и среднего выхода ПД по штатным ВОТК. Кроме этого, оценивались содержания в теплоносителе продуктов активации (ПА).

Исследования проводились с использованием полупроводникового гамма-детектора GC1020 (ППД) и гамма-спектрометра InSpector-2000.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

1.1 Характеристики ядерного топлива ВОУ реактора ИВГ.1М

Конструктивно компоновка активной зоны с ВОУ топливом:

– активная зона набрана из 30 ВОТК выполненных в виде цилиндра;

– ТВС расположен внутри капсулы ВОТК и представляет собой пакет из набора стержневых спиральных твэлов;

– твэл выполнен в виде спирального стержня двухлопастного профиля (рисунок 1), состоит из металлургически связанных оболочки и топливного сердечника. Топливный сердечник твэла представляет собой топливную композицию из циркониевого сплава Э110 и урана обогащением 90% по изотопу U-235.

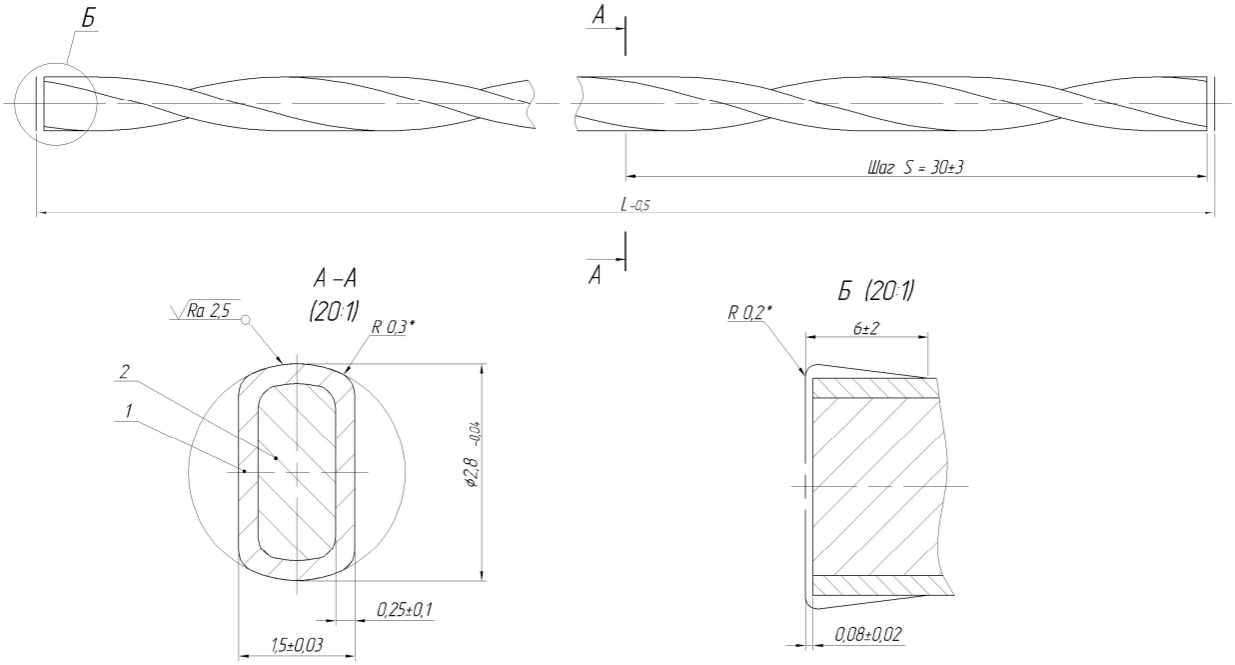

Рисунок 1 Конструктивная схема твэла ВОУ

Процесс производства ВОУ топлива методами порошковой металлургии включал в себя следующие: смешение порошков урана и циркония; прессование сырых заготовок; спекание. Получение урана-циркониевого сплава производилось в дуговой печи плавкой в атмосфере инертного газа нерасходуемым вольфрамовым электродом.

Суммарная масса ^{235}U в активной зоне реактора ИВГ.1М с ВОТК-НОУ составляет 4600 г [2].

1.2 Характеристики ядерного топлива НОУ

Конструктивно компоновка активной зоны в варианте ИР ИВГ.1М с НОУ топливом должна быть аналогична варианту активной зоны ИР ИВГ.1М с ВОУ топливом:

ТВС расположен внутри капсулы ВОТК и представляет собой пакет из набора стержневых спиральных твэлов; твэл выполнен в виде спирального стержня двухлопастного профиля (рисунок 2).

Топливный сердечник твэла представляет собой топливную композицию из циркониевого сплава Э110 с равномерно распределенными в ней нитями (133 нити в каждом твэле) [3] урана обогащением 19,75% по изотопу U-235.

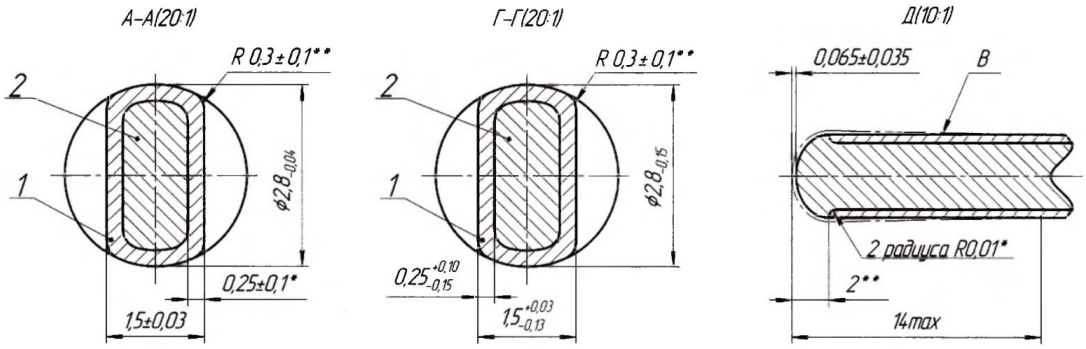

Рисунок 2 Конструктивная схема твэла НОУ

Суммарная масса ^{235}U в активной зоне реактора ИВГ.1М с ВОТК-НОУ составит 5670 ± 170 г [3].

1.3 Характеристики ВОТК

В реакторах ИВГ-ВОУ и ИВГ-НОУ должны использоваться технологические каналы ВОТК одной и той же конструкции, отличающиеся материальным составом топливной композиции в твэлах [4, 5]. Масса урана-235 в реакторе ИВГ-НОУ приблизительно на 23% больше, чем в реакторе ИВГ-ВОУ (Таблица 1), в то же время, масса урана-238 в реакторе ИВГ-НОУ в несколько десятков раз больше, чем в реакторе ИВГ-ВОУ.

Таблица 1 – Параметры топлива в ВОТК-ВОУ и в ВОТК-НОУ (ВОУ/НОУ)

	3 ряд		1 и 2 ряды			
			Низ 60.0 cm		Верх 20.0 cm	
	Центр	Перифер.	Центр.	Перифер.	Центр.	Перифер.
Количество твэлов	276	192	276	192	264	192
Масса U-235 в твэле, мг	331/407	280/344	285/361	237/278	79/107	96.7/124
Масса U-235 по зонам радиального профилирования, г	91/112	54/66	79/100	46/52	21/29	19/23
Масса U-235 по зонам аксиального профилирования, г	145/180		124/149		40/49	
Масса U-235 в ВОТК, г	145/178		164/204			
Увеличение массы U-235 в ВОТК-НОУ, отн. ед	~1,23		~1,21			

Примечание: в таблице 1 приведены округленные значения массы U-235

Функционально-узловая схема ВОТК показана на рисунке 3. Внешний вид ВОТК с твэлами на рисунке 4.

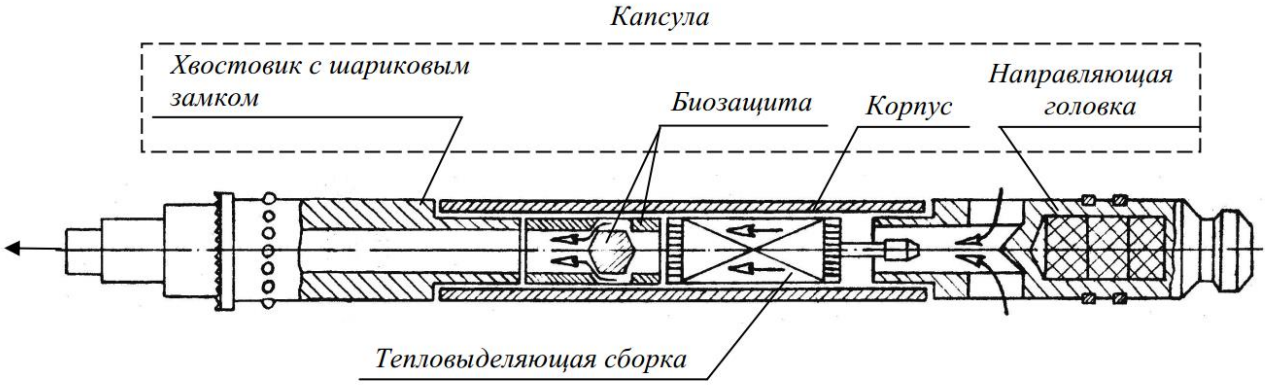

Рисунок 3 Функционально-узловая схема ВОТК

Рисунок 4 Внешний вид торцев ТВС

В таблице 2 приведены сравнительные характеристики твэла ВОУ и НОУ

Таблица 2 Сравнительные характеристики твэла ВОУ и НОУ

Наименование параметра	Значение параметра	
Тип твэла	Оболочковый спирально-стержневой двухлопастного профиля	Оболочковый спирально-стержневой двухлопастного профиля
Длина, мм для ТВС ВОТК 1 и 2 рядов для ТВС ВОТК 3 ряда	800 (600+200) 600	800
Диаметр описанной окружности, мм	2,8	2,8
Ширина лопасти, мм	1,5	1,5
Шаг спирали, мм	30	30
Материал оболочки	сплав Э110, на торцах - никель	сплав Э110, на торцах - никель
Топливный материал сердечника	уран-циркониевый сплав	уран-циркониевый сплав
Концентрация урана в сердечнике, % масс	3-5	**10-11**
Обогащение по урану-235, %	90	**19,75**

Наименование параметра	Значение параметра	
Максимальная температура поверхности, °С	110	110
Максимальный тепловой поток с поверхности, МВт/м^2	1	1
Допустимая температура топлива, °С	850	850

1.4 Выход продуктов деления

Для определения влияния качества покрытий на торцах твэлов на их работоспособность целесообразно спрогнозировать выход продуктов деления (ПД) из твэлов на базе сопоставления с твэлами энергетических реакторов.

Уровень эксплуатационной надежности твэлов энергетических реакторов оценивается количеством разгерметизировавшихся твэлов за компанию. По современным требованиям вероятность разгерметизации должна не превышать величину $3\cdot10^{-6}$ (то есть, 3 дефектных твэла на миллион).

Энерговыработка твэлов за компанию в современных реакторах ВВЭР составляет 50 МВт·сут/кг U-235. Предполагаемая энерговыработка в твэлах модернизированной АЗ реактора ИВГ.1М может составить 9 МВт·сут/кг. Данные для пересчета взяты из «Программы испытаний ВОТК с топливом низкого обогащения» для ВОТК № 4.

Для среднестатистического твэла энергетических реакторов относительный выход продуктов деления R/B после выработки полного ресурса можно принять непревышающим $3\cdot10^{-6}$. Эквивалентное интегральное значение R/B для твэла ИВГ.1М, пересчитанное из соотношения энерговыработок и в предположении выхода всех образовавшихся ПД из дефектных твэлов, составит $5{,}5\cdot10^{-5}$. Это значение является оценкой сверху и его можно считать допустимым для реактора ИВГ.1М.

Как известно, выход ПД из твэлов происходит по трем механизмам:

- кинетический выход (прямой вылет осколков деления),
- диффузия газообразных и летучих ПД,
- процесс испарения в треках деления (выбивание).

Кинетического выхода ПД в теплоноситель быть не может при толщине оболочки 250 мкм и толщине покрытия на торцах больше 50 мкм при длине свободного пробега осколков деления не выше 10 мкм.

Диффузионный вынос ПД незначителен ввиду малой энерговыработки. Известно, что для оксидного топлива энергетических реакторов процесс диффузионного выхода ПД начинает играть существенную роль при выработке от 10 МВт сут/кг. В твэлах ИВГ. 1М энерговыработка ниже, но что гораздо важнее, температура топлива ниже и открытые границы, и каналы транспортировки ПД в нем практически отсутствуют.

Представляет интерес вынос ПД через полностью не защищенные торцы твэлов. Грубая оценка выхода ПД без учета направления угла рассеивания осколков и неравномерности выгорания по длине АЗ составляет ~ $3\text{-}10^{-5}$.

2 УСЛОВИЯ И ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Переход на ВОТК-НОУ требует проведения предварительных испытаний. В реакторе были заменены два штатных канала высокого обогащения (ВОТК-ВОУ), на два экспериментальных канала низкого обогащения ВОТК-НОУ. Первый ВОТК-НОУ №14 с высотой ТВС 600 мм расположен в ячейке третьего ряда реактора. Второй ВОТК-НОУ №24 с высотой ТВС 800 мм расположен в ячейке первого ряда. На рисунке 5 представлено расположение штатных ВОТК (каналы18, 22) и ВОТК-НОУ (каналы 14, 24) в АЗ реактора ИВГ.1М.

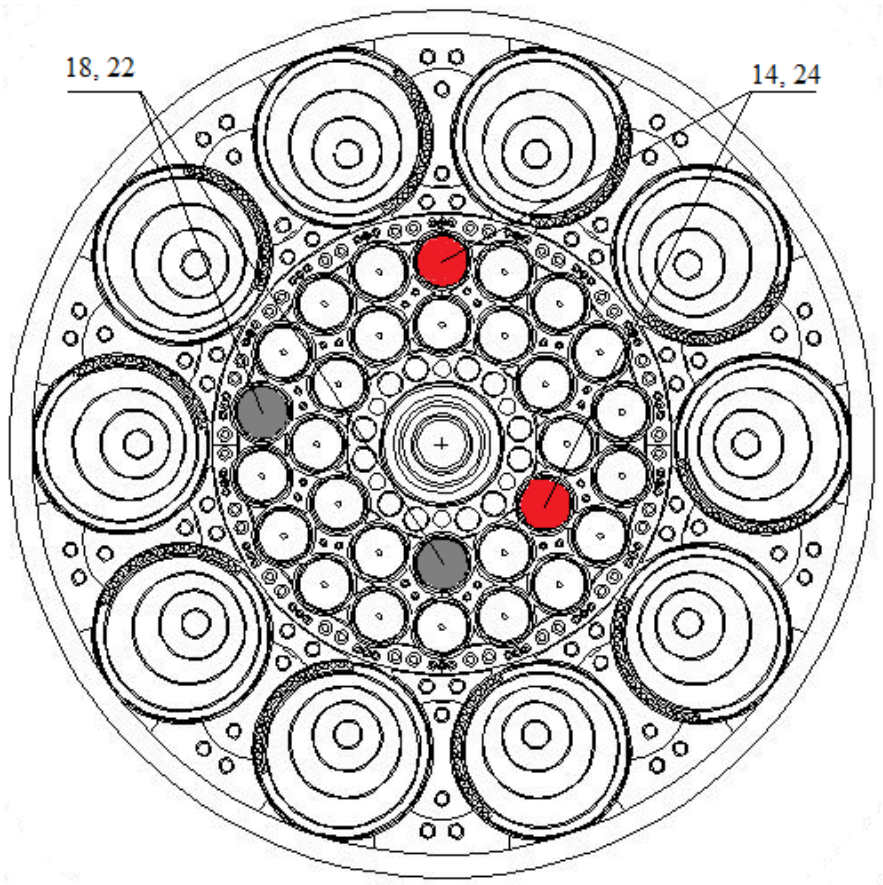

Рисунок 5. Расположение штатных ВОТК (каналы18, 22) и ВОТК-НОУ (каналы 14, 24) в АЗ реактора ИВГ.1М

С целью определения активности отдельных продуктов деления (ПД) и продуктов активации (ПА) в теплоносителе в системе КГО проводился отбор проб с последующими измерениями спектров гамма-излучения радиоизотопов, содержащихся в пробах. Отбор проб теплоносителя проводился из спектрометрических емкостей каналов №№ 14, 18, 22 и 24.

Пробы теплоносителя отбирались в емкости объемом 1 литр и затем разливались в пластиковые емкости. Объем пробы теплоносителя в измерительной емкости составил 0,5 л. На каждом пуске было проведено два пробоотбора – в начале пуска (через 15-20 мин после выхода на стационарный уровень мощности) и приблизительно через 2 ч после выхода на стационарный уровень мощности. Спектр излучения каждой из восьми емкостей измерялся дважды. Время выдержки перед измерением составляло от 20 минут (для первого измерения) до 1,5 часов (для второго измерения). Время экспозиции для первого измерения составляло 200 с, для второго – 400 с.

Значения удельной активности A_0 ПА и ПД в теплоносителе на момент выхода из ВОТК были рассчитаны по формуле (1):

$$A_0 = \left[\sum_{i=1}^{n} A_i(t_1)\cdot exp(\lambda t_1)\right] \Big/ n \,, \qquad (1)$$

где $A(t_1)$ − удельная активность ПА и ПД на момент измерения, Бк/л;

λ – постоянная распада, c^{-1};

t_1 – время, прошедшее с момента выхода теплоносителя из активной зоны до момента начала измерения активности теплоносителя, с;

n – количество измерений пробы теплоносителя, n = 2.

Относительный выход ПД из твэлов ВОТК рассчитывался как отношение скорости выхода ПД в теплоноситель (Release) к скорости его рождения (Born). Под скоростью

рождения (2) измеряемого нуклида подразумевается суммарная скорость рождения данного нуклида и его предшественников в цепочке образования:

$$B = P_c \cdot 3{,}2 \cdot 10^{13} \eta \,, \qquad (2)$$

где P_c – мощность ВОТК, кВт;

η –выход данного нуклида и его предшественников на одно деление ^{235}U, ядро/дел.;

$3{,}2 \cdot 10^{13}$ – количество делений ^{235}U, приводящих к выделению 1 кДж.

Скорость выхода R (3) определяется как количество ядер измеряемого нуклида и его предшественников, выходящих из ТВС в теплоноситель в единицу времени. Скорость выхода измеряемого нуклида в теплоносителе определяется по результатам измерения его активности в теплоносителе A(t) гамма-спектрометрическим методом:

$$R = \frac{A(t_1) \cdot Q_c \cdot 10^{-3}}{\rho \cdot \lambda \cdot F} \,, \qquad (3)$$

где $A(t_1)$ – удельная активность ПД, Бк/л;

Q_c – расход теплоносителя через ВОТК, г/с;

ρ – плотность теплоносителя, г/см^3, ρ = 1 г/см^3;

λ – постоянная распада измеряемого нуклида, с$^{-1}$.

F – поправка на распад за промежуток времени от момента выхода из ВОТК до момента измерения пробы t_1. Для случая, когда период полураспада регистрируемого ПД значительно превышает периоды полураспада предшественников, $F = exp(-\lambda \cdot t_1)$.

Таким образом, относительный выход ПД в теплоноситель (R/B) определяется как (4):

$$R / B = \frac{A(t) \cdot Q_c \cdot 10^{-16}}{P_c \cdot 3{,}2 \cdot \eta \cdot \rho \cdot \lambda \cdot F} \,. \qquad (4)$$

Относительная погрешность определения величины R/B рассчитывается по формуле

$$\delta_{R/B} = \sqrt{\delta_{Q/P}^2 + \delta_A^2 + \delta_\eta^2 + \delta_N^2 + \delta_\lambda^2 + \delta_F^2} \qquad (5)$$

где δ(Q/P) – относительная погрешность определения функционала Q/P, которая составляет не более 5 %;

δ(A) – относительная погрешность определения удельной активности регистрируемого ПД – не более 15 %;

δ(η) – относительная погрешность значения кумулятивного выхода ПД – не более 5 %;

δ(λ) – относительная погрешность постоянной распада регистрируемого радионуклида – не более 2 %;

δ(F) – относительная погрешность определения поправка на распад от момента выхода из ВОТК до момента измерения пробы F – не более 5 %;

δN – относительная погрешность определения количества делений ^{235}U, приводящих к выделению 1 кДж ($3{,}2 \cdot 10^{13}$) не превышает 3 %.

Относительная погрешность определения относительного выхода ПД R/B не превышает 20 % при доверительной вероятности 0,95.

3 РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В Приложении 1 (таблицы 1-5) представлена информация, характеризующая параметры пуска П-18-19 и иллюстрирующая порядок проведения обработки результатов измерений, который был реализован для всех пусков, в которых проводились измерения [6,7].

В таблице 1 (Приложение 1) представлены тепловая мощность каналов, установленных в ячейках 14, 18, 22 и 24, и расход теплоносителя через каналы на пуске П-18-19.

Результаты измерения активности A(t) продуктов активации и результаты расчета их активности A_0 на момент выхода теплоносителя из ВОТК, а также результаты измерения активности A(t) продуктов деления и результаты расчета значения $\overline{R/B}$ в ВОТК 14, 18, 22 и 24 для пуска П-18-19 представлены в приложении таблицах 2 – 5.

Аналогично пуску П-18-19 обработаны результаты измерений, выполненных в других пусках (измерения проведены в 46 пусках). В таблице 6 (Приложение 1) представлены параметры этих пусков реактора ИВГ.1М (включая референтный пуск П-18-19).

Результаты измерений выхода отдельных ПД (I-134, Te-134, Cs-138 и Xe-138), а также среднего значения $\overline{R/B}$ для всех зарегистрированных ПД представлены в таблицах 2-5 (Приложение 1) и на рисунках 6-10. Для расчета среднего значения относительного выхода ПД использовано 15 радионуклидов: Kr-85m, Kr-87, Kr-88, Rb-89, Sr-92, Y-94, Tc-104, Te-131, I-133, I-134, Te-134, I-135, Cs-138, Xe-138 и La-142. $\overline{R/B}$ здесь представляет собой среднее арифметическое значение относительного выхода ПД по двум отборам проб.

В таблицах 7-10 (Приложение 1) представлены результаты определения приведенного выхода отдельных ПД и среднего выхода зарегистрированных ПД для ВОТК-НОУ 14, 18, 22 и 24.

Для наглядности результаты исследований по проведенным экспериментам представлены в графическом виде. На рисунке 6 представлены значения среднего выхода ПД на пусках реактора ИВГ.1М П-17-05 ... П-19-31. На рисунках 7, 8, 9 и 10 представлены значения выхода в теплоноситель I-134, Te-134, Cs-138 и Xe-138.

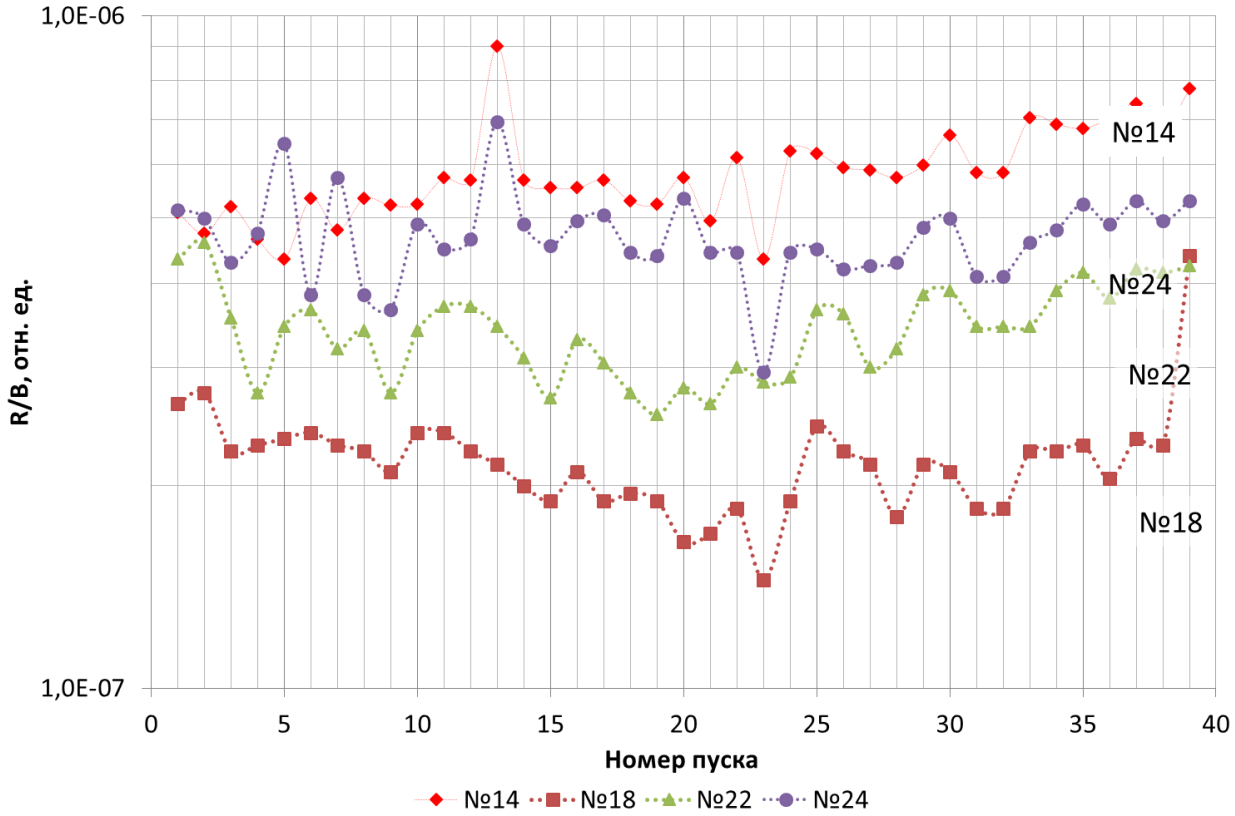

Рисунок 6 – Значения приведенного выхода ПД на пусках реактора ИВГ.1М П-17-05 ... П-19-31

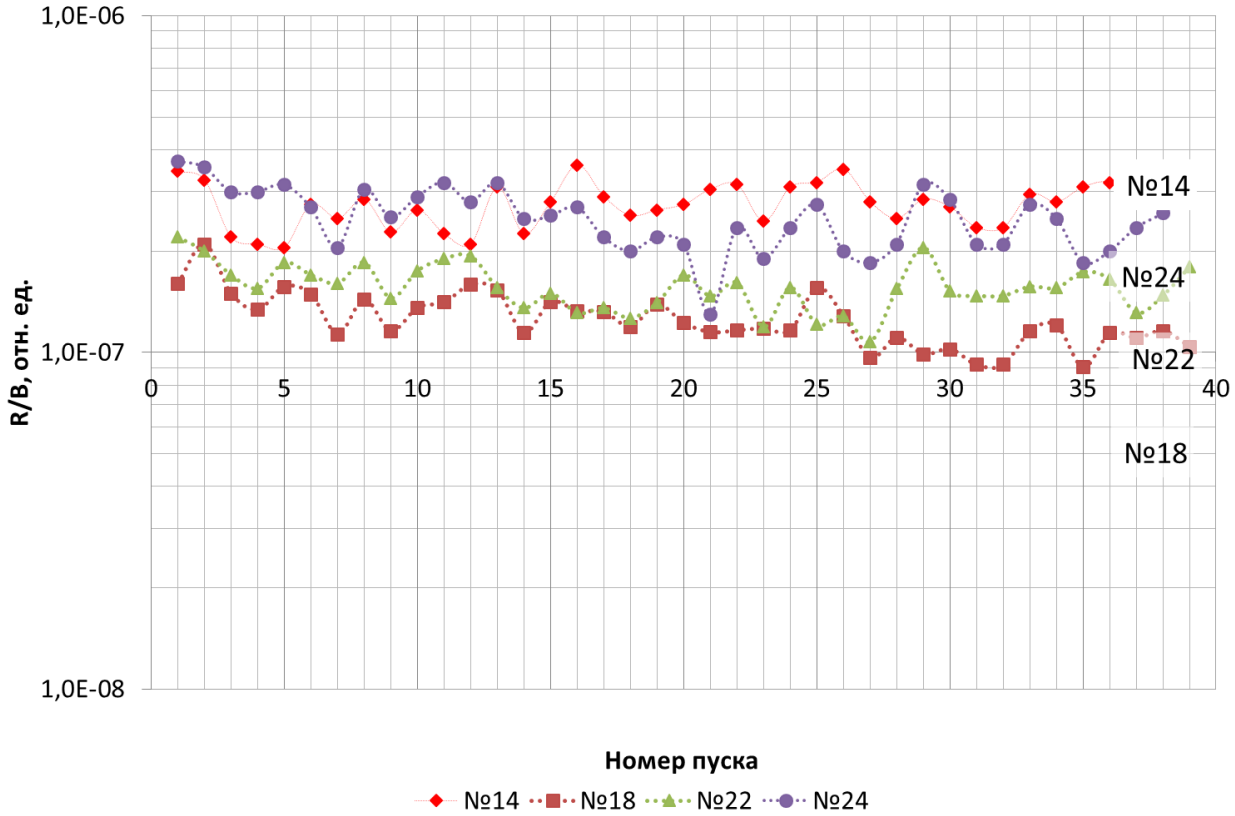

Рисунок 7 – Значения выхода I-134

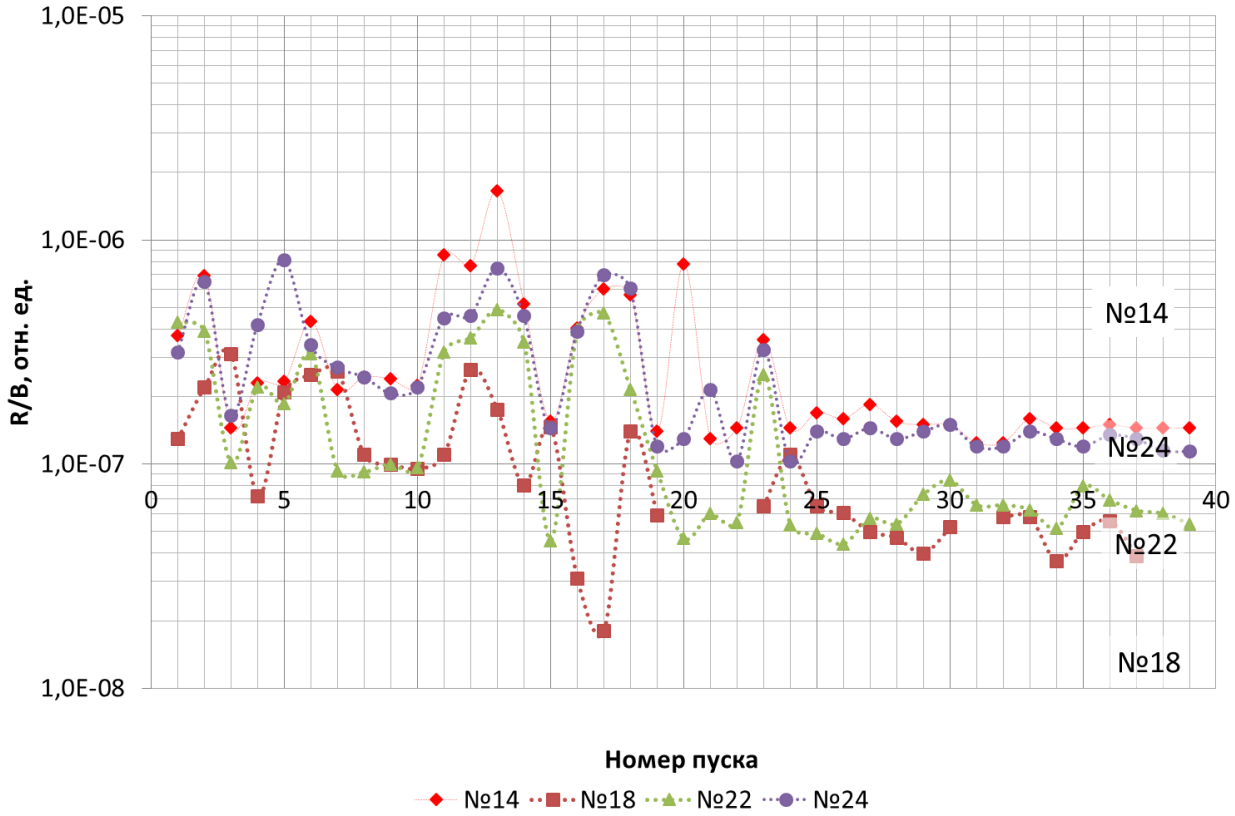

Рисунок 8 – Значения выхода Te-134

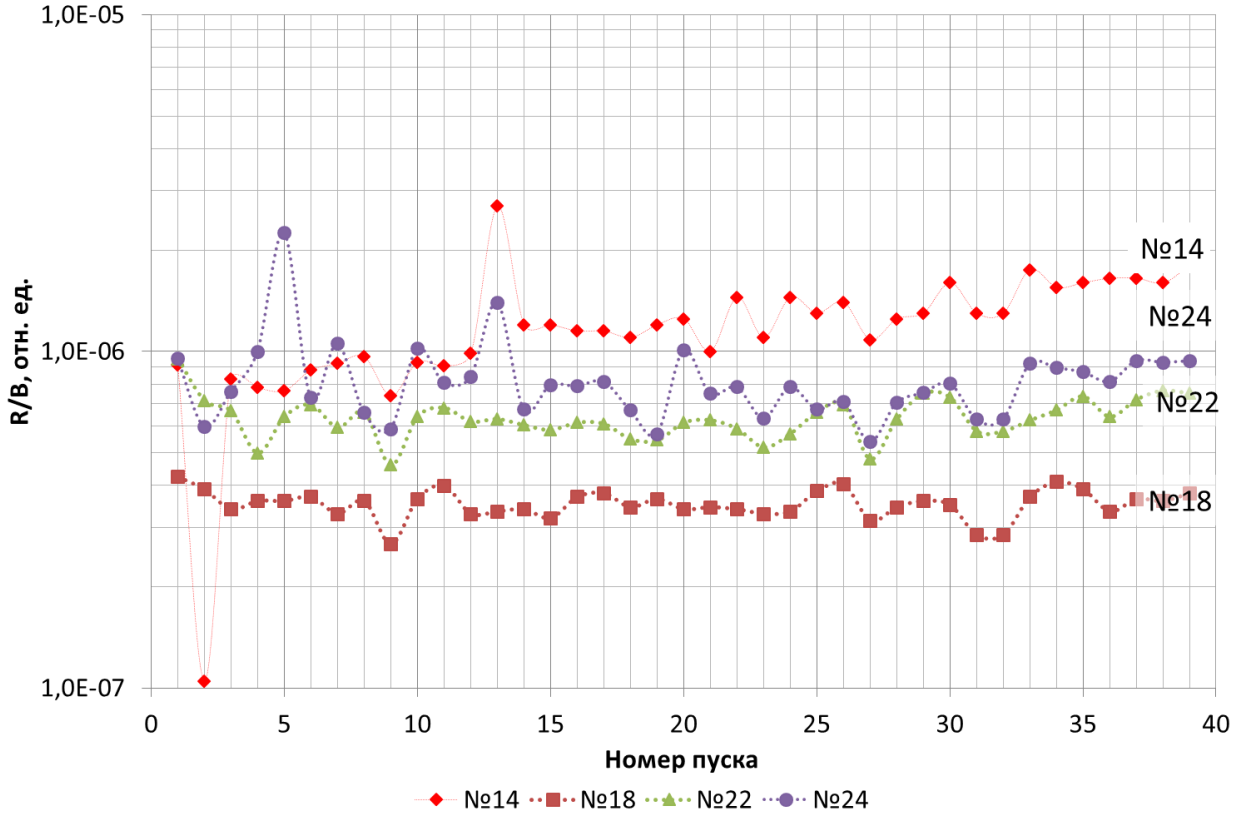

Рисунок 9 – Значения выхода Cs-138

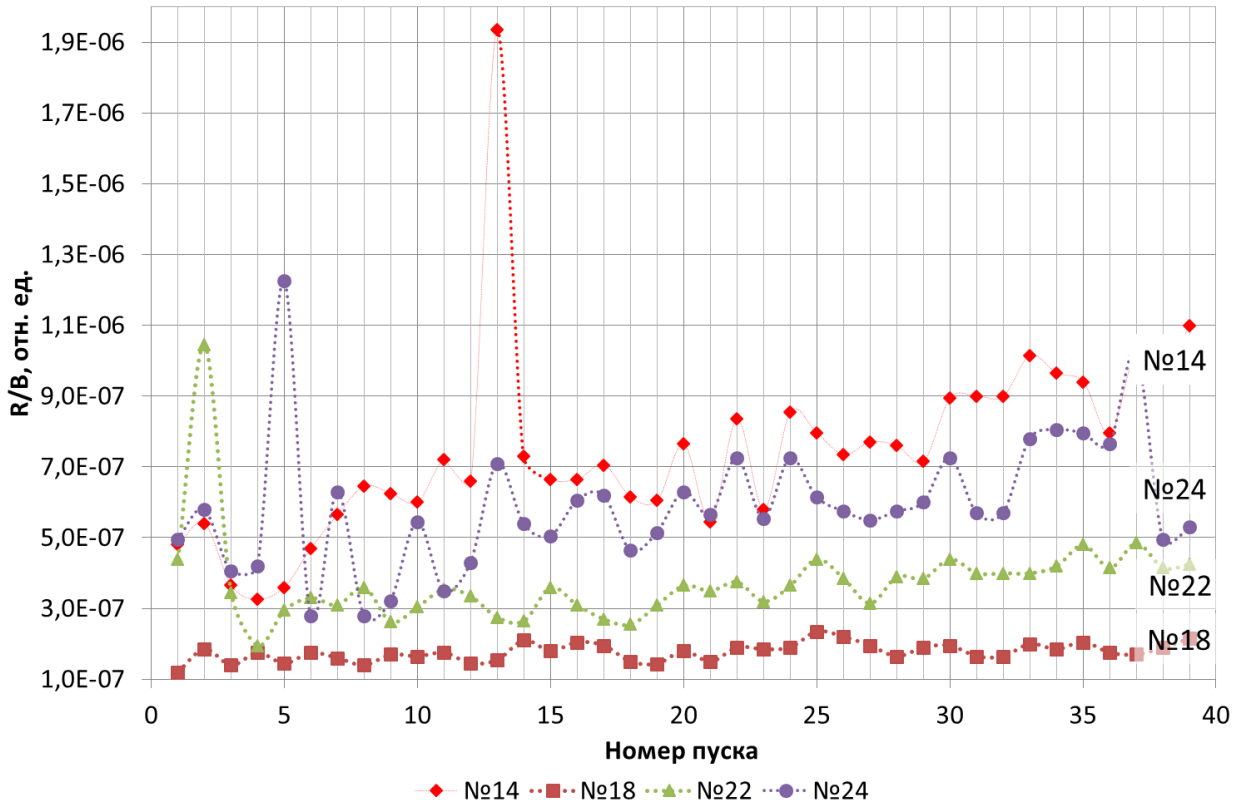

Рисунок 10 – Значения выхода Xe-138

Для сравнения с эксплуатационным пределом интегральной активности теплоносителя, равным 0,1 Ки/л [9], была выполнена оценка соответствующей величины для десяти последних пусков реактора (П-19-22 …П-19-31) с учетом вклада ПА и ПД в активность теплоносителя. Кроме этого, для этих же пусков выполнена оценка активности теплоносителя по изотопу I-133 (эксплуатационный предел активности теплоносителя реактора ИВГ.1М по изотопу I-133 равен 10^{-4} Ки/л). Результаты оценки суммарной активности теплоносителя и активности изотопа йода I-133 приведены в таблицах 11 и 12 (Приложение 1).

Интегральная активность в теплоносителе ПА и ПД (таблица 11, Приложение 1) составила не более $1{,}4 \cdot 10^{6}$ Бк/л ($4 \cdot 10^{-5}$ Ки/л), что меньше эксплуатационного предела интегральной активности теплоносителя, проходящего через систему КГО (0,1 Ки/л) [9].

Активность реперного нуклида I-133 в теплоносителе при выходе теплоносителя из ВОТК составила не более $2{,}1 \cdot 10^{3}$ Бк/л ($7 \cdot 10^{-8}$ Ки/л), что так же не превышает эксплуатационный предел для реактора ИВГ.1М по активности I-133 (10^{-4} Ки/л) [9].

ВЫВОД

В результате исследований было определено среднее значение относительного выхода ПД из твэлов экспериментальных ВОТК-НОУ № 14, 24 и из штатных ВОТК № 18, 22. Проведено сравнение выходов ПД из экспериментальных ВОТК-НОУ №14 и №24 с средним и средним квадратичным значением выхода ПД штатных ВОТК.

Интегральная активность ПА и ПД, приведенных в данной работе, составила не более $4 \cdot 10^{-5}$ Ки/л, что меньше значения эксплуатационного предела интегральной активности теплоносителя, проходящего через систему КГО (0,1 Ки/л).

Активность реперного нуклида I-133 в теплоносителе при выходе теплоносителя из ВОТК составила не более 10^{-7} Ки/л, что так же не превышает эксплуатационный предел для реактора ИВГ.1М по активности I-133 (10^{-4} Ки/л).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Физические исследования на системе КГО твэлов реактора ИВГ.1М по определению содержания продуктов деления в теплоносителе с использованием полупроводникового гамма-детектора. Программа подготовки и проведения исследований. Филиал ИАЭ РГП НЯЦ РК.– Курчатов, 25.09.2017. – Инв. №13-240-02/1537вн.

2 Отчет по обоснованию безопасности. Комплекс научно-исследовательских реакторов «БАЙКАЛ-1». Реакторная установка ИВГ.1М.: отчет, инв.№ К-39328 от 14.06.02 г. / ИАЭ, Курчатов. рук. О.С. Пивоваров, В.А. Пахниц, В.В. Яковлев, А.Н. Колбаенков и др., 2002. – 65 с

3 Анализ технологии изготовления твэлов модернизированной АЗ реактора ИВГ.1М. Техническая справка. НПО «Луч». – Подольск, 22.05. 2015. – Инв.№ 550-03/2771.

4 Характеристика активной зоны реактора ИВГ.1М с высокообогащенным ураном: отчет (Deliverable 2.2 under Contract 0J-30461-0001A) / ДГП ИАЭ РГП НЯЦ РК. рук. А.А. Колодешников, А.Д. Вурим, В.А. Зуев – Курчатов, 2011. – 39 с.

5 Характеристика активной зоны реактора ИВГ.1М с низкообогащенным ураном: отчет (IAE for deliverable 2.3 of the IVG.1M feasibility study under Contract 0J-30461-0001A) / ДГП ИАЭ РГП НЯЦ РК. рук. А.А. Колодешников, А.Д. Вурим, В.А. Зуев – Курчатов, 2012. – 23 с.

6 Предварительные результаты определения выхода продуктов деления из твэлов экспериментальных ВОТК-НОУ на пусках П-17-05 … П-18-19 реактора ИВГ.1М. Техническая справка. Филиал ИАЭ РГП НЯЦ РК. – Курчатов, 27.11.2018. – Инв. №13-240-02/2011вн.

7 Результаты определения выхода продуктов деления из твэлов экспериментальных ВОТК-НОУ на пусках П-17-05 … П-19-31 реактора ИВГ.1М. Техническая справка. Филиал ИАЭ РГП НЯЦ РК. – Курчатов, 08.11.2019. – Инв. №13-240-02/2197вн.

8 Разработка расчетного кода для моделирования термомеханического поведения твэлов, распухания твэлов, выход активности из негерметичных твэлов. Техническая справка. Инв.№ 10/НИР-7036. Москва, Троицк, 2015, 135 с.

9 Комплекс исследовательских реакторов «Байкал-1». Исследовательский реактор ИВГ.1М. Отчет по анализу безопасности. АК.65000.01.966Д, инв.№К-51622 от 12.11.2013 г.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Таблица 1 – Параметры технологических каналов

№ ячейки / Параметр	14	18	22	24
Мощность P, кВт	192	182	227	254
Расход Q, кг/с	1,78	1,84	2,03	2,23

Таблица 2 – Радиационные характеристики теплоносителя ВОТК-НОУ №14

Первый пробоотбор				Второй пробоотбор		
Изотоп ПА	A(t), Бк/л		A_0, Бк/л	A(t), Бк/л		A_0, Бк/л
	t_1 = 34 мин	t_2 = 1 ч 29 мин		t_1 = 30 мин	t_2 = 1 ч 17 мин	
Na-24	2.0E+03	1.6E+03	1.9E+03	3.9E+03	3.7E+03	4.0E+03
Ar-41	1.2E+04	6.5E+03	1.3E+04	1.5E+04	9.1E+03	1.7E+04
Mn-56	5.0E+04	4.0E+04	5.9E+04	8.5E+04	6.7E+04	9.6E+04
W-187	2.5E+03	2.9E+03	2.8E+03	9.0E+03	7.2E+03	8.3E+03
Mg-27	4.5E+03	НО *	5.5E+04	6.1E+03	НО*	5.6E+04
Изотоп ПД	A(t), Бк/л		R/B, отн. ед.	A(t), Бк/л		R/B, отн. ед.
	t_1 = 34 мин	t_2 = 1 ч 29 мин		t_1 = 30 мин	t_2 = 1 ч 17 мин	
Kr-85	1.4E+03	8.5E+02	6.4E-07	2.3E+03	1.8E+03	1.2E-06
Kr-87	7.0E+03	3.6E+03	6.4E-07	1.2E+04	5.6E+03	9.9E-07
Kr-88	5.6E+03	3.3E+03	6.4E-07	9.4E+03	5.7E+03	1.1E-06
Rb-89	2.8E+04	1.8E+03	9.0E-07	2.8E+04	3.1E+03	8.1E-07
Sr-92	4.4E+03	3.7E+03	3.5E-07	4.8E+03	4.2E+03	3.8E-07
Y-94	7.6E+03	1.1E+03	2.1E-07	1.0E+04	1.8E+03	2.2E-07
Tc-104	4.2E+03	4.1E+02	3.4E-07	5.1E+03	7.3E+02	3.7E-07
Te-131	3.6E+03	1.7E+03	3.1E-07	4.5E+03	2.5E+03	3.4E-07
I-133	1.0E+03	4.7E+02	3.5E-07	1.3E+03	8.8E+02	5.2E-07
I-134	7.0E+03	4.2E+03	2.3E-07	5.6E+03	7.6E+03	2.8E-07
Te-134	5.4E+03	2.1E+03	1.4E-07	6.3E+03	2.9E+03	1.5E-07
I-135	НО	2.0E+03	1.7E-07	НО	2.3E+03	4.0E-07
Cs-138	4.2E+04	1.5E+04	1.1E-06	4.3E+04	2.0E+04	1.1E-06
Xe-138	2.3E+04	1.2E+03	5.9E-07	3.1E+04	2.2E+03	6.4E-07
La-142	6.2E+03	3.5E+03	2.8E-07	8.4E+03	4.6E+03	3.6E-07
$\overline{R/B}$			4.6E-07	$\overline{R/B}$		5.5E-07

* НО – не определено.

Таблица 3 – Радиационные характеристики теплоносителя ВОТК №18

Первый пробоотбор				Второй пробоотбор		
Изотоп ПА	A(t), Бк/л		A_0, Бк/л	A(t), Бк/л		A_0, Бк/л
	t_1 = 31 мин	t_2 = 1 ч 21 мин		t_1 = 26 мин	t_2 = 1 ч 08 мин	
Na-24	5.7E+03	5.7E+03	6.0E+03	9.8E+03	9.9E+03	1.0E+04
Ar-41	1.3E+04	8.0E+03	1.5E+04	1.7E+04	1.2E+04	1.9E+04
Mn-56	8.2E+00	6.6E+04	4.7E+04	1.2E+05	1.0E+05	1.4E+05
W-187	6.7E+03	5.8E+03	6.4E+03	1.3E+04	1.2E+04	1.3E+04

Первый пробоотбор				Второй пробоотбор		
Изотоп ПА	A(t), Бк/л		A_0, Бк/л	A(t), Бк/л		A_0, Бк/л
	t_1 = 31 мин	t_2 = 1 ч 21 мин		t_1 = 26 мин	t_2 = 1 ч 08 мин	
Mg-27	4.3E+04	НО	4.2E+05	5.9E+04	2.7E+03	4.1E+05
Изотоп ПД	A(t), Бк/л		R/B, отн. ед.	A(t), Бк/л		R/B, отн. ед.
	t_1 = 31 мин	t_2 = 1 ч 21 мин		t_1 = 26 мин	t_2 = 1 ч 08 мин	
Kr-85	4.0E+02	2.4E+02	2.0E-07	1.1E+03	7.5E+02	5.8E-07
Kr-87	2.0E+03	9.2E+02	1.8E-07	4.2E+03	2.8E+03	4.2E-07
Kr-88	7.6E+02	1.1E+03	1.5E-07	3.7E+03	2.7E+03	4.8E-07
Rb-89	8.4E+03	8.9E+02	2.9E-07	1.0E+04	1.6E+03	2.9E-07
Sr-92	2.1E+03	1.5E+03	1.6E-07	2.7E+03	2.3E+03	2.2E-07
Y-94	3.7E+03	7.4E+02	1.1E-07	5.3E+03	1.3E+03	1.2E-07
Tc-104	1.7E+03	3.3E+02	1.7E-07	2.4E+03	5.5E+02	1.8E-07
Te-131	1.6E+03	6.8E+02	1.2E-07	2.0E+03	1.2E+03	1.4E-07
I-133	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	8.2E+02	3.9E+02	3.1E-07
I-134	1.1E+03	1.3E+03	5.9E-08	6.0E+03	3.7E+03	1.8E-07
Te-134	НО	НО	НО	2.7E+03	1.4E+03	7.2E-08
I-135	НО	7.3E+02	1.4E-07	0.0E+00	1.4E+03	2.6E-07
Cs-138	1.1E+04	4.4E+03	3.0E-07	1.6E+04	7.5E+03	3.9E-07
Xe-138	6.9E+03	0.0E+00	1.8E-07	1.1E+04	1.2E+03	2.1E-07
La-142	2.8E+03	1.8E+03	1.4E-07	3.7E+03	2.6E+03	1.9E-07
$\overline{R/B}$			1.2E-07	$\overline{R/B}$		2.7E-07

Таблица 4 – Радиационные характеристики теплоносителя ВОТК №22

Первый пробоотбор				Второй пробоотбор		
Изотоп ПА	A(t), Бк/л		A_0, Бк/л	A(t), Бк/л		A_0, Бк/л
	t_1 = 28 мин	t_2 = 1 ч 12 мин		t_1 = 23 мин	t_2 = 1 ч	
Na-24	7.0E+03	6.5E+03	7.0E+03	1.2E+04	1.2E+04	1.2E+04
Ar-41	1.8E+04	9.8E+03	1.8E+04	2.1E+04	1.3E+04	2.2E+04
Mn-56	9.4E+04	7.8E+04	1.1E+05	1.3E+05	1.1E+05	1.5E+05
W-187	7.0E+03	6.7E+03	7.0E+03	1.4E+04	1.5E+04	1.5E+04
Mg-27	6.6E+04	3.0E+03	5.6E+05	8.9E+04	6.7E+03	5.1E+05
Изотоп ПД	A(t), Бк/л		R/B, отн. ед.	A(t), Бк/л		R/B, отн. ед.
	t_1 = 28 мин	t_2 = 1 ч 12 мин		t_1 = 23 мин	t_2 = 1 ч	
Kr-85	8.0E+02	5.9E+02	3.9E-07	2.0E+03	1.4E+03	8.9E-07
Kr-87	4.8E+03	2.5E+03	3.9E-07	1.0E+04	5.3E+03	7.3E-07
Kr-88	3.6E+03	2.3E+03	3.9E-07	8.3E+03	5.2E+03	8.3E-07
Rb-89	1.8E+04	2.4E+03	4.7E-07	1.9E+04	3.5E+03	3.8E-07
Sr-92	2.9E+03	2.2E+03	2.0E-07	3.1E+03	2.9E+03	2.2E-07
Y-94	5.5E+03	1.1E+03	1.1E-07	6.0E+03	1.4E+03	8.8E-08
Tc-104	3.0E+03	5.2E+02	2.0E-07	4.0E+03	8.5E+02	2.0E-07
Te-131	1.9E+03	1.3E+03	1.4E-07	2.7E+03	1.9E+03	1.5E-07
I-133	5.2E+02	0.0E+00	2.3E-07	1.1E+03	4.7E+02	3.3E-07
I-134	3.1E+03	2.1E+03	9.3E-08	5.1E+03	5.1E+03	1.6E-07

Первый пробоотбор				Второй пробоотбор		
Te-134	2.2E+03	9.4E+02	4.9E-08	3.0E+03	1.6E+03	6.1E-08
I-135	НО	8.8E+02	1.4E-07	НО	НО	НО
Cs-138	2.1E+04	1.1E+04	5.2E-07	2.6E+04	1.7E+04	5.6E-07
Xe-138	1.8E+04	1.5E+03	3.1E-07	2.7E+04	3.9E+03	3.7E-07
La-142	3.5E+03	2.2E+03	1.5E-07	3.8E+03	3.2E+03	1.7E-07
$\overline{R/B}$			2.1E-07	$\overline{R/B}$		3.7E-07

Таблица 5 – Радиационные характеристики теплоносителя ВОТК-НОУ №24

Первый пробоотбор				Второй пробоотбор		
Изотоп ПА	A(t), Бк/л		A_0, Бк/л	A(t), Бк/л		A_0, Бк/л
	t_1 = 23 мин	t_2 = 58 мин		t_1 = 19 мин	t_2 = 50 мин	
Na-24	2.0E+03	1.7E+03	1.9E+03	4.0E+03	3.8E+03	4.0E+03
Ar-41	1.7E+04	1.0E+04	1.7E+04	1.8E+04	1.3E+04	1.9E+04
Mn-56	5.4E+04	4.7E+04	6.1E+04	8.9E+04	7.9E+04	9.8E+04
W-187	2.4E+03	2.8E+03	2.6E+03	6.1E+03	8.0E+03	7.2E+03
Mg-27	1.0E+04	НО	5.7E+04	1.5E+04	НО	6.2E+04
Изотоп ПД	A(t), Бк/л		R/B, отн. ед.	A(t), Бк/л		R/B, отн. ед.
	t_1 = 23 мин	t_2 = 58 мин		t_1 = 19 мин	t_2 = 50 мин	
Kr-85	1.2E+03	8.9E+02	5.5E-07	2.1E+03	1.6E+03	9.8E-07
Kr-87	6.8E+03	3.6E+03	5.0E-07	1.1E+04	6.2E+03	8.0E-07
Kr-88	5.1E+03	3.0E+03	5.1E-07	7.4E+03	5.7E+03	8.2E-07
Rb-89	3.2E+04	6.0E+03	6.4E-07	3.5E+04	8.3E+03	6.0E-07
Sr-92	4.3E+03	4.0E+03	3.1E-07	5.1E+03	4.7E+03	3.6E-07
Y-94	1.2E+04	3.1E+03	1.9E-07	1.3E+04	4.2E+03	1.8E-07
Tc-104	6.3E+03	1.5E+03	3.4E-07	7.6E+03	2.3E+03	3.6E-07
Te-131	3.6E+03	2.9E+03	2.2E-07	4.0E+03	3.7E+03	2.2E-07
I-133	6.5E+02	7.8E+02	3.1E-07	1.6E+03	9.7E+02	5.7E-07
I-134	7.4E+03	4.6E+03	1.8E-07	5.7E+03	8.7E+03	2.2E-07
Te-134	6.1E+03	3.1E+03	1.2E-07	6.9E+03	3.6E+03	1.3E-07
I-135	НО	1.6E+03	2.5E-07	НО	2.1E+03	3.2E-07
Cs-138	2.7E+04	1.9E+04	6.2E-07	3.1E+04	2.5E+04	6.7E-07
Xe-138	3.1E+04	3.9E+03	4.3E-07	4.0E+04	7.4E+03	5.0E-07
La-142	6.5E+03	4.2E+03	2.6E-07	7.9E+03	5.6E+03	3.1E-07
$\overline{R/B}$			3.6E-07	$\overline{R/B}$		4.7E-07

Таблица 6 – Характеристики пусков реактора ИВГ.1М

№ пуска	Индекс пуска	Дата проведения	Длительность	Энерговыделение за пуск / суммарное энерговыд., МВт×час
1	П-17-05	18.10.2017	5 ч 36 мин	33,6
2	П-17-06	22.11.2017	4 ч 26 мин	26,6 / 60,2
3	П-17-09	21.12.2017	2 ч 50 мин	17 / 114,2
4	П-18-01	11.01.2018	3 ч 10 мин	19 / 133,2

№ пуска	Индекс пуска	Дата проведения	Длительность	Энерговыделение за пуск / суммарное энерговыд., МВт×час
5	П-18-02	25.01.2018	3 ч 20 мин	20 / 153,2
6	П-18-03	08.02.2018	3 ч 20 мин	20 / 173,2
7	П-18-04	22.02.2018	3 ч	18 / 191,2
8	П-18-05	06.03.2018	2 ч 50 мин	17 / 208,2
9	П-18-06	28.03.2018	3 ч 30 мин	21 / 229,2
10	П-18-07	13.04.2018	1 ч 30 мин	9 / 238,2
11	П-18-08	24.04.2018	3 ч 20 мин	20 / 258,2
12	П-18-09	15.05.2018	3 ч 20 мин	20 / 278,2
13	П-18-10	29.05. 2018	3 ч 20 мин	20 / 298,2
14	П-18-11	11.07.2018	3 ч 10 мин	19 / 317,2
15	П-18-12	08.08.2018	3 ч 20 мин	20 / 337,2
16.	П-18-13	23.08.2018	3 ч 4 мин	22 / 359,2
17	П-18-17	04.10.2018	3 ч 40 мин	22 /381,2
18	П-18-18	25.10.2018	3 ч 20 мин	20 / 401,2
19	П-18-19	06.11.2018	2 ч 20 мин	14 / 415,2
20	П-18-20	21.11.2018	4 ч	24 / 439,2
21	П-18-21	04.11.2018	2 ч 20 мин	14/ 453,2
22	П-18-22	20.12.2018	4 ч	24 / 477,2
23	П-19-01	09.01.2019	2 ч 40 мин	16 / 493,2
24	П-19-02	22.01.2019	3 ч 40 мин	22 / 515,2
25	П-19-03	04.02.2019	3 ч 18 мин	20 / 535
26	П-19-04	20.02.2019	3 ч 40 мин	22 / 557
27	П-19-05	05.03.2019	3 ч мин	20 / 577
28	П-19-06	19.03.2019	1 ч 50 мин	11 / 588
29	П-19-07	03.04.2019	3 ч	18 / 606
30	П-19-08	18.04.2019	2 ч	12 / 618
31	П-19-12	02.05.2019	2 ч	12 / 630
32	П-19-13	15.05.2019	2 ч	12 / 642
33	П-19-14	29.05.2019	(1 МВт) 4 ч 05 мин (6 МВт) 59 мин	10 / 652
34	П-19-19	25.06.2019	3 ч 50 мин	23 / 675
35	П-19-20	24.07.2019	4 ч 44 мин	28 / 703,4
36	П-19-21	20.08.2019	6 ч	36 / 739,4
37	П-19-22	27.08.2019	6 ч	36 / 775,4
38	П-19-23	03.09.2019	5 ч 50 мин	29 / 804,4
39	П-19-24	10.09.2019	6 ч	36 / 840,4
40	П-19-25	17.09.2019	6 ч	36 / 876,4
41	П-19-26	24.09.2019	6 ч	36 / 912,4
42	П-19-27	01.10.2019	5 ч 36 мин	36 / 948,4
43	П-19-28	08.10.2019	6 ч	36 / 984,4
44	П-19-29	15.10.2019	6 ч	36 / 1020,4
45	П-19-30	22.10.2019	6 ч	36 / 1056,5
46	П-19-31	29.10.2019	5 ч	30 / 1086,6

Таблица 7 – Выход ПД для ВОТК-НОУ №14

№ пуска п/п	Индекс пуска	Выход отдельных ПД R/B, отн. ед.				Относительный выход R/B по зарегистрированным ПД
		I-134	Te-134	Cs-138	Xe-138	
1	Р-17-05	2,9E-07	1,2E-07	2,7E-07	3,6E-07	4,2E-07
2	Р-17-06	3,5E-07	3,8E-07	9,1E-07	4,8E-07	5,4E-07
3	Р-17-09	3,3E-07	6,9E-07	1,1E-07	5,4E-07	4,8E-07
4	Р-18-01	2,2E-07	1,5E-07	8,3E-07	3,7E-07	5,2E-07
5	Р-18-02	2,1E-07	2,3E-07	7,8E-07	3,3E-07	4,7E-07
6	Р-18-03	2,1E-07	2,4E-07	7,7E-07	3,6E-07	4,5E-07
7	Р-18-04	2,8E-07	4,4E-07	8,8E-07	4,7E-07	5,4E-07
8	Р-18-05	2,5E-07	2,2E-07	9,2E-07	5,7E-07	4,8E-07
9	Р-18-06	2,9E-07	2,5E-07	9,7E-07	6,5E-07	5,4E-07
10	Р-18-07	2,3E-07	2,4E-07	7,4E-07	6,3E-07	4,6E-07
11	Р-18-08	2,7E-07	2,3E-07	9,3E-07	6,0E-07	5,3E-07
12	Р-18-09	2,3E-07	8,6E-07	9,1E-07	7,2E-07	5,8E-07
13	Р-18-10	2,1E-07	7,7E-07	9,9E-07	6,6E-07	5,7E-07
14	Р-18-11	3,1E-07	1,7E-06	2,7E-06	1,9E-06	4,1E-07
15	Р-18-12	2,3E-07	5,2E-07	1,2E-06	7,3E-07	5,7E-07
16	Р-18-13	2,8E-07	1,6E-07	1,2E-06	6,7E-07	5,6E-07
17	Р-18-17	3,6E-07	4,1E-07	1,2E-06	6,7E-07	5,2E-07
18	Р-18-18	2,9E-07	6,1E-07	1,2E-06	7,1E-07	5,7E-07
19	Р-18-19	2,6E-07	5,7E-07	1,1E-06	6,2E-07	5,0E-07
20	П-18-20	5,2E-07	2,9E-07	1,6E-07	1,2E-06	5,2E-07
21	П-18-21	6,4E-07	3,3E-07	1,5E-07	1,5E-06	6,4E-07
22	П-18-22	5,9E-07	2,9E-07	1,6E-07	1,3E-06	5,9E-07
23	П-19-01	2,7E-07	1,4E-07	1,2E-06	6,05E-07	5,3E-07
24	П-19-02	2,8E-07	7,8E-07	1,3E-06	7,65E-07	5,8E-07
25	П-19-03	5,6E-07	3,5E-07	4,0E-07	1,2E-06	5,6E-07
26	П-19-04	5,3E-07	3,2E-07	1,6E-07	1,1E-06	5,3E-07
27	П-19-05	3,1E-07	1,3E-07	1,0E-06	5,45E-07	5,0E-07
28	П-19-06	3,2E-07	1,5E-07	1,5E-06	8,35E-07	6,2E-07
29	П-19-07	2,5E-07	3,6E-07	1,1E-06	5,80E-07	5,5E-07
30	П-19-08	3,1E-07	1,5E-07	1,5E-06	8,55E-07	6,3E-07
31	П-19-12	3,2E-07	1,7E-07	1,3E-06	7,95E-07	6,3E-07
32	П-19-13	3,5E-07	1,6E-07	1,4E-06	7,35E-07	6,0E-07
33	П-19-14	2,8E-07	1,9E-07	1,1E-06	7,70E-07	5,9E-07
34	П-19-19	2,5E-07	1,6E-07	1,3E-06	7,60E-07	5,8E-07
35	П-19-20	2,9E-07	1,5E-07	1,3E-06	7,15E-07	6,0E-07
36	П-19-21	2,7E-07	1,5E-07	1,6E-06	8,95E-07	6,7E-07
37	П-19-22	2,4E-07	1,3E-07	1,3E-06	9,00E-07	5,9E-07
38	П-19-23	2,4E-07	1,3E-07	1,3E-06	9,00E-07	6,3E-07
39	П-19-24	6,7E-07	2,7E-07	1,5E-07	1,6E-06	6,7E-07
40	П-19-25	3,0E-07	1,6E-07	1,8E-06	1,02E-06	7,1E-07
41	П-19-26	2,8E-07	1,5E-07	1,6E-06	9,65E-07	6,9E-07
42	П-19-27	3,1E-07	1,5E-07	1,6E-06	9,40E-07	6,8E-07

№ пуска п/п	Индекс пуска	Выход отдельных ПД R/B, отн. ед.				Относительный выход R/B по зарегистрированным ПД
		I-134	Te-134	Cs-138	Xe-138	
43	П-19-28	3,2E-07	1,5E-07	1,7E-06	7,95E-07	7,1E-07
44	П-19-29	2,9E-07	1,5E-07	1,7E-06	1,03E-06	7,4E-07
45	П-19-30	2,9E-07	1,5E-07	1,6E-06	9,75E-07	6,8E-07
46	П-19-31	3,1E-07	1,5E-07	1,8E-06	1,10E-06	7,5E-07
$\overline{R/B}$						5,7E-07

Таблица 8 – Выход ПД для ВОТК №18

№ пуска п/п	Индекс пуска	Выход отдельных ПД R/B, отн. Ед.				Относительный выход R/B по зарегистрированным ПД
		I-134	Te-134	Cs-138	Xe-138	
1	Р-17-05	2,0E-07	1,3E-07	7,0E-07	4,2E-07	2,7E-07
2	Р-17-06	1,6E-07	2,2E-07	4,3E-07	1,2E-07	2,9E-07
3	Р-17-09	2,1E-07	3,1E-07	3,9E-07	1,9E-07	2,8E-07
4	Р-18-01	1,5E-07	7,2E-08	3,4E-07	1,4E-07	2,3E-07
5	Р-18-02	1,3E-07	2,1E-07	3,6E-07	1,8E-07	2,3E-07
6	Р-18-03	1,6E-07	2,5E-07	3,6E-07	1,5E-07	2,3E-07
7	Р-18-04	1,5E-07	2,6E-07	3,7E-07	1,8E-07	2,4E-07
8	Р-18-05	1,1E-07	1,1E-07	3,3E-07	1,6E-07	2,3E-07
9	Р-18-06	1,4E-07	1,0E-07	3,6E-07	1,4E-07	2,3E-07
10	Р-18-07	1,2E-07	9,6E-08	2,7E-07	1,7E-07	2,0E-07
11	Р-18-08	1,4E-07	1,1E-07	3,7E-07	1,7E-07	2,4E-07
12	Р-18-09	1,4E-07	2,7E-07	4,0E-07	1,8E-07	2,4E-07
13	Р-18-10	1,6E-07	1,8E-07	3,3E-07	1,5E-07	2,3E-07
14	Р-18-11	1,5E-07	8,1E-08	3,4E-07	1,6E-07	2,2E-07
15	Р-18-12	1,1E-07	1,5E-07	3,4E-07	2,1E-07	2,0E-07
16	Р-18-13	1,4E-07	3,1E-08	3,2E-07	1,8E-07	1,9E-07
17	Р-18-17	1,3E-07	1,8E-08	3,7E-07	2,1E-07	2,3E-07
18	Р-18-18	1,3E-07	1,4E-07	3,8E-07	2,0E-07	1,9E-07
19	Р-18-19	1,2E-07	5,9E-08	3,5E-07	1,5E-07	1,9E-07
20	П-18-20	1,3E-07	НО	3,7E-07	1,8E-07	2,1E-07
21	П-18-21	1,3E-07	7,1E-08	3,7E-07	2,1E-07	2,1E-07
22	П-18-22	1,7E-07	1,6E-07	5,9E-07	2,9E-07	2,6E-07
23	П-19-01	1,4E-07	НО	3,7E-07	1,4E-07	1,9E-07
24	П-19-02	1,2E-07	НО	3,4E-07	1,8E-07	1,7E-07
25	П-19-03	1,3E-07	1,9E-08	3,8E-07	2,1E-07	2,30E-07
26	П-19-04	1,2E-07	6,1E-08	3,9E-07	2,1E-07	1,95E-07
27	П-19-05	1,2E-07	НО	3,5E-07	1,5E-07	1,70E-07
28	П-19-06	1,2E-07	6,5E-08	3,4E-07	1,9E-07	1,85E-07
29	П-19-07	1,2E-07	1,1E-07	3,3E-07	1,9E-07	2,20E-07
30	П-19-08	1,2E-07	6,5E-08	3,4E-07	1,9E-07	1,90E-07
31	П-19-12	1,6E-07	6,1E-08	3,9E-07	2,4E-07	2,45E-07
32	П-19-13	1,3E-07	5,0E-08	4,1E-07	2,2E-07	2,25E-07

№ пуска п/п	Индекс пуска	Выход отдельных ПД R/B, отн. Ед.				Относительный выход R/B по зарегистрированным ПД
		I-134	Te-134	Cs-138	Xe-138	
33	П-19-14	9,7E-08	4,7E-08	3,2E-07	2,0E-07	2,15E-07
34	П-19-19	1,1E-07	4,0E-08	3,5E-07	1,7E-07	1,80E-07
35	П-19-20	9,9E-08	5,3E-08	3,6E-07	1,9E-07	2,15E-07
36	П-19-21	1,0E-07	НО	3,5E-07	2,0E-07	2,10E-07
37	П-19-22	9,2E-08	5,8E-08	2,9E-07	1,7E-07	1,85E-07
38	П-19-23	9,2E-08	5,8E-08	2,9E-07	1,7E-07	1,95E-07
39	П-19-24	1,1E-07	5,1E-08	3,4E-07	1,6E-07	1,95E-07
40	П-19-25	1,2E-07	3,7E-08	3,7E-07	2,0E-07	2,25E-07
41	П-19-26	1,2E-07	5,0E-08	4,1E-07	1,9E-07	2,25E-07
42	П-19-27	9,1E-08	5,6E-08	3,9E-07	2,1E-07	2,30E-07
43	П-19-28	1,1E-07	3,9E-08	3,4E-07	1,8E-07	2,05E-07
44	П-19-29	1,1E-07	НО	3,7E-07	1,7E-07	2,35E-07
45	П-19-30	1,2E-07	НО	3,6E-07	1,9E-07	2,30E-07
46	П-19-31	1,0E-07	НО	3,8E-07	2,2E-07	2,55E-07
$\overline{R/B}$						2,18E-07

Таблица 9 – Выход ПД для ВОТК №22

№ пуска п/п	Индекс пуска	Выход отдельных ПД R/B, отн. ед.				Относительный выход R/B по зарегистрированным ПД
		I-134	Te-134	Cs-138	Xe-138	
1	Р-17-05	2,6E-07	1,5E-07	4,3E-07	2,1E-07	3,7E-07
2	Р-17-06	2,2E-07	4,3E-07	9,5E-07	4,4E-07	4,1E-07
3	Р-17-09	2,0E-07	3,9E-07	7,2E-07	1,0E-06	4,6E-07
4	Р-18-01	1,7E-07	1,0E-07	6,7E-07	3,5E-07	3,6E-07
5	Р-18-02	1,6E-07	2,2E-07	5,0E-07	2,0E-07	3,3E-07
6	Р-18-03	1,9E-07	1,9E-07	6,4E-07	3,0E-07	3,4E-07
7	Р-18-04	1,7E-07	3,1E-07	7,0E-07	3,3E-07	3,7E-07
8	Р-18-05	1,6E-07	9,3E-08	6,0E-07	3,1E-07	3,2E-07
9	Р-18-06	1,9E-07	9,2E-08	6,6E-07	3,6E-07	3,4E-07
10	Р-18-07	1,5E-07	1,0E-07	4,6E-07	2,6E-07	2,5E-07
11	Р-18-08	1,8E-07	9,6E-08	6,4E-07	3,1E-07	3,4E-07
12	Р-18-09	1,9E-07	3,2E-07	6,8E-07	3,6E-07	3,7E-07
13	Р-18-10	1,9E-07	3,7E-07	6,2E-07	3,4E-07	3,7E-07
14	Р-18-11	1,6E-07	4,9E-07	6,3E-07	2,8E-07	3,5E-07
15	Р-18-12	1,4E-07	3,5E-07	6,1E-07	2,7E-07	3,1E-07
16	Р-18-13	1,5E-07	4,6E-08	5,9E-07	3,6E-07	2,7E-07
17	Р-18-17	1,3E-07	4,0E-07	6,2E-07	3,1E-07	3,5E-07
18	Р-18-18	1,4E-07	4,7E-07	6,1E-07	2,7E-07	3,1E-07
19	Р-18-19	1,3E-07	2,2E-07	5,5E-07	2,6E-07	2,9E-07
20	П-18-20	1,1E-07	2,7E-08	4,8E-07	2,9E-07	2,8E-07
21	П-18-21	1,7E-07	5,9E-08	6,3E-07	4,0E-07	3,2E-07

№ пуска п/п	Индекс пуска	Выход отдельных ПД R/B, отн. ед.				Относительный выход R/B по зарегистрированным ПД
		I-134	Te-134	Cs-138	Xe-138	
22	П-18-22	1,5E-07	4,7E-08	5,5E-07	3,4E-07	2,7E-07
23	П-19-01	1,4E-07	9,3E-08	5,5E-07	3,1E-07	2,6E-07
24	П-19-02	1,7E-07	4,7E-08	6,2E-07	3,7E-07	2,8E-07
25	П-19-03	1,3E-07	4,1E-07	6,3E-07	3,2E-07	3,7E-07
26	П-19-04	1,4E-07	5,0E-08	6,3E-07	3,8E-07	2,9E-07
27	П-19-05	1,5E-07	6,0E-08	6,3E-07	3,5E-07	2,65E-07
28	П-19-06	1,6E-07	5,5E-08	5,9E-07	3,8E-07	3,00E-07
29	П-19-07	1,2E-07	2,5E-07	5,2E-07	3,2E-07	2,85E-07
30	П-19-08	1,6E-07	5,4E-08	5,7E-07	3,7E-07	2,90E-07
31	П-19-12	1,2E-07	4,9E-08	6,6E-07	4,4E-07	3,65E-07
32	П-19-13	1,3E-07	4,4E-08	7,0E-07	3,9E-07	3,60E-07
33	П-19-14	1,1E-07	5,7E-08	4,8E-07	3,2E-07	3,00E-07
34	П-19-19	1,5E-07	5,4E-08	6,3E-07	3,9E-07	3,20E-07
35	П-19-20	2,1E-07	7,3E-08	7,5E-07	3,9E-07	3,85E-07
36	П-19-21	1,5E-07	8,5E-08	7,3E-07	4,4E-07	4,10E-07
37	П-19-22	1,5E-07	6,6E-08	5,8E-07	4,0E-07	3,45E-07
38	П-19-23	1,5E-07	6,6E-08	5,8E-07	4,0E-07	3,75E-07
39	П-19-24	1,4E-07	6,8E-08	6,8E-07	4,2E-07	3,70E-07
40	П-19-25	1,6E-07	6,3E-08	6,3E-07	4,0E-07	3,45E-07
41	П-19-26	1,6E-07	5,2E-08	6,7E-07	4,2E-07	3,90E-07
42	П-19-27	1,7E-07	8,0E-08	7,4E-07	4,8E-07	4,15E-07
43	П-19-28	1,6E-07	6,9E-08	6,4E-07	4,2E-07	3,80E-07
44	П-19-29	1,3E-07	6,2E-08	7,2E-07	4,9E-07	4,20E-07
45	П-19-30	1,5E-07	6,0E-08	7,7E-07	4,2E-07	4,15E-07
46	П-19-31	1,8E-07	5,4E-08	7,5E-07	4,3E-07	4,25E-07
$\overline{R/B}$						3,41E-07

Таблица 10 – Выход ПД для ВОТК-НОУ №24

№ пуска п/п	Индекс пуска	Выход отдельных ПД R/B, отн. ед.				Относительный выход R/B по зарегистрированным ПД
		I-134	Te-134	Cs-138	Xe-138	
1	Р-17-05	3,9E-07	3,4E-07	7,7E-07	7,5E-07	4,4E-07
2	Р-17-06	3,7E-07	3,2E-07	9,6E-07	5,0E-07	5,4E-07
3	Р-17-09	3,6E-07	6,6E-07	6,0E-07	5,8E-07	5,0E-07
4	Р-18-01	3,0E-07	1,7E-07	7,6E-07	4,1E-07	4,3E-07
5	Р-18-02	3,0E-07	4,2E-07	1,0E-06	4,2E-07	4,8E-07
6	Р-18-03	3,2E-07	8,2E-07	2,3E-06	1,2E-06	6,0E-07
7	Р-18-04	2,7E-07	3,4E-07	7,3E-07	2,8E-07	3,9E-07
8	Р-18-05	2,1E-07	2,7E-07	1,1E-06	6,3E-07	5,8E-07
9	Р-18-06	3,1E-07	2,5E-07	6,6E-07	2,8E-07	3,9E-07
10	Р-18-07	2,5E-07	2,1E-07	5,9E-07	3,2E-07	3,5E-07
11	Р-18-08	2,9E-07	2,2E-07	1,0E-06	5,5E-07	4,9E-07

№ пуска п/п	Индекс пуска	Выход отдельных ПД R/B, отн. ед.				Относительный выход R/B по зарегистрированным ПД
		I-134	Te-134	Cs-138	Xe-138	
12	Р-18-09	3,2E-07	4,5E-07	8,1E-07	3,5E-07	4,5E-07
13	Р-18-10	2,8E-07	4,6E-07	8,4E-07	4,3E-07	4,7E-07
14	Р-18-11	3,2E-07	7,5E-07	1,4E-06	7,1E-07	7,0E-07
15	Р-18-12	2,5E-07	4,6E-07	6,8E-07	5,4E-07	4,9E-07
16	Р-18-13	2,6E-07	1,5E-07	8,0E-07	5,1E-07	4,6E-07
17	Р-18-17	2,7E-07	3,9E-07	7,9E-07	6,1E-07	5,0E-07
18	Р-18-18	2,2E-07	7,0E-07	8,2E-07	6,2E-07	5,1E-07
19	Р-18-19	2,0E-07	6,1E-07	6,7E-07	4,7E-07	4,0E-07
20	П-18-20	2,5E-07	1,4E-07	9,4E-07	6,0E-07	5,1E-07
21	П-18-21	2,6E-07	1,1E-07	8,7E-07	5,4E-07	4,9E-07
22	П-18-22	2,2E-07	1,4E-07	6,9E-07	5,1E-07	4,4E-07
23	П-19-01	2,2E-07	1,2E-07	5,7E-07	5,2E-07	4,4E-07
24	П-19-02	2,1E-07	1,3E-07	1,0E-06	6,3E-07	5,4E-07
25	П-19-03	2,8E-07	4,0E-07	8,2E-07	6,2E-07	5,1E-07
26	П-19-04	2,4E-07	1,4E-07	6,8E-07	4,9E-07	4,4E-07
27	П-19-05	1,3E-07	2,2E-07	7,5E-07	5,7E-07	4,45E-07
28	П-19-06	2,4E-07	1,0E-07	7,9E-07	7,3E-07	4,45E-07
29	П-19-07	1,9E-07	3,3E-07	6,4E-07	5,6E-07	4,10E-07
30	П-19-08	2,4E-07	1,0E-07	7,9E-07	7,3E-07	4,45E-07
31	П-19-12	2,8E-07	1,4E-07	6,8E-07	6,2E-07	4,50E-07
32	П-19-13	2,0E-07	1,3E-07	7,1E-07	5,8E-07	4,20E-07
33	П-19-14	1,9E-07	1,5E-07	5,4E-07	5,5E-07	4,25E-07
34	П-19-19	2,1E-07	1,3E-07	7,1E-07	5,8E-07	4,30E-07
35	П-19-20	3,2E-07	1,4E-07	7,6E-07	6,0E-07	4,85E-07
36	П-19-21	2,9E-07	1,5E-07	8,1E-07	7,3E-07	5,00E-07
37	П-19-22	2,1E-07	1,2E-07	6,3E-07	5,7E-07	4,10E-07
38	П-19-23	2,1E-07	1,2E-07	6,3E-07	5,7E-07	5,70E-07
39	П-19-24	2,3E-07	1,3E-07	7,9E-07	5,9E-07	4,70E-07
40	П-19-25	2,8E-07	1,4E-07	9,2E-07	7,8E-07	4,60E-07
41	П-19-26	2,5E-07	1,3E-07	9,0E-07	8,1E-07	4,80E-07
42	П-19-27	1,9E-07	1,2E-07	8,7E-07	8,0E-07	5,25E-07
43	П-19-28	2,0E-07	1,4E-07	8,2E-07	7,7E-07	4,90E-07
44	П-19-29	2,4E-07	1,3E-07	9,4E-07	1,0E-06	5,30E-07
45	П-19-30	2,6E-07	1,2E-07	9,3E-07	5,0E-07	4,95E-07
46	П-19-31	3,1E-07	1,1E-07	9,4E-07	5,3E-07	5,30E-07
$\overline{R/B}$						4,76E-07

Таблица 11 – Суммарная активность теплоносителя

Индекс пуска	Активность, Бк/л			
	Канал №14	Канал №18	Канал №22	Канал №24
П-19-22	8,0E+05	8,0E+05	1,0E+06	6,0E+05
П-19-23	8,0E+05	8,0E+05	1,3E+06	7,0E+05
П-19-24	1,0E+06	8,0E+05	1,2E+06	8,4E+05
П-19-25	8,1E+05	9,2E+05	1,2E+06	8,0E+05
П-19-26	1,0E+06	9,4E+05	1,2E+06	8,6E+05
П-19-27	1,0E+06	9,3E+05	1,4E+06	9,5E+05
П-19-28	1,1E+06	1,0E+06	1,3E+06	9,4E+05
П-19-29	1,1E+06	9,0E+05	1,3E+06	1,0E+06
П-19-30	9,8E+05	9,2E+05	1,3E+06	9,4E+05
П-19-31	1,1E+06	8,0E+05	1,3E+06	1,0E+06

Таблица 12 – Активность изотопа йода I-133 в теплоносителе

Индекс пуска	Активность, Бк/л			
	Канал №14	Канал №18	Канал №22	Канал №24
П-19-22	1,4E+03	НО	1,3E+03	1,8E+03
П-19-23	1,2E+03	5E+02	1,3E+03	2,1E+03
П-19-24	1,3E+03	НО	1,0E+03	1,3E+03
П-19-25	1,1E+03	НО	1,2E+03	2,1E+03
П-19-26	1,6E+03	8E+02	1,4E+03	1,8E+03
П-19-27	1,4E+03	5E+02	1,2E+03	2,1E+03
П-19-28	1,3E+03	3E+02	1,4E+03	1,9E+03
П-19-29	1,4E+03	НО	1,6E+03	1,9E+03
П-19-30	1,2E+03	НО	1,4E+03	1,9E+03
П-19-31	1,4E+03	НО	1,3E+03	1,9E+03