

УДК 621.6

РЕАКТОРНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ВОДООХЛАЖДАЕМЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КАНАЛОВ С ТОПЛИВОМ НИЗКОГО ОБОГАЩЕНИЯ В РАМКАХ КОНВЕРСИИ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО РЕАКТОРА ИВГ.1М

Скаков М.К., Вурим А.Д., Гныря В.С., Азимханов А.С., Колбаенков А.Н., Дербышев И.К., Нуржанов Е.Б.

Филиал «Институт атомной энергии» РГП НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан

На исследовательском реакторе ИВГ.1М проводятся реакторные испытания экспериментальных водоохлаждаемых технологических каналов с низкообогащенным урановым топливом с целью определения соответствия каналов предъявляемым техническим требованиям и получения экспериментальных данных, необходимых для принятия решения об изготовлении партии штатных каналов и комплектации ими активной зоны реактора по результатам испытаний и исследований.

В данной статье приведены результаты сравнительной оценки технологических параметров (расход, давление, температура) во время проведения реакторных испытаний экспериментальных водоохлаждаемых технологических каналов с низкообогащенным урановым топливом и результаты расчета выгорания U^{235} в экспериментальных водоохлаждаемых технологических каналах с низкообогащенным урановым топливом по реализованным пускам исследовательского реактора ИВГ.1М.

ВВЕДЕНИЕ

20 июля 2010 года между Национальным ядерным центром Республики Казахстан и Аргонской национальной лабораторией Соединённых штатов Америки было подписано соглашение на основе которого исследуется возможность конверсии реактора ИВГ.1М с высокообогащённого уранового топлива (90 % обогащение по U^{235}) на низкообогащенное (до 20 % обогащение по U^{235}).

Снижение обогащения топлива реактора ИВГ.1М нацелено на выполнение международных программ по минимизации использования высокообогащенного урана и снижения риска незаконного распространения делящихся ядерных материалов, которые могут быть использованы для создания оружия массового уничтожения. В случае успешной конверсии будет обеспечена возможность полноценной эксплуатации реактора ИВГ.1М в течение многих последующих лет.

На начальном этапе исследований были выполнены аналитические исследования, которые включали в себя предварительные и уточненные расчетные оценки нейтронно-физических и теплогидравлических параметров реактора ИВГ.1М с топливом низкого обогащения в стационарных и переходных режимах эксплуатации реактора. Результаты расчетов показали, что существуют варианты конверсии, в результате реализации которых эксплуатационные и экспериментальные возможности исследовательского реактора ИВГ.1М сохраняются.

Предприятие ФГУП «НИИ НПО «Луч» (г. Подольск, РФ), которое является создателем ныне эксплуатируемой активной зоны исследовательского реактора ИВГ.1М с водоохлаждаемыми технологическими каналами с высокообогащённым урановым топливом (ВОТК-ВОУ), было привлечено к работам по разработке и изготовлению ВОТК для реактора с низкообогащенной активной зоной. В целях экспе-

риментальной проверки эксплуатационных характеристик нового топлива ФГУП «НИИ НПО «Луч» изготовило два экспериментальных водоохлаждаемых технологических канала с топливом низкообогащённым урановым топливом (ВОТК-НОУ), при этом замена всех ВОТК активной зоны будет произведена только после получения положительных результатов испытаний.

В отношении экспериментальных ВОТК-НОУ были выполнены процедуры входного контроля, проведены предреакторные испытания, в том числе – испытания на проходимость через калибр, гидравлические испытания по определению расходных характеристик и испытания на плотность. По результатам большого комплекса работ экспериментальные ВОТК-НОУ были признаны пригодными к установке в активную зону исследовательского реактора для проведения внутриреакторных испытаний.

1 ОБЪЕКТ ИСПЫТАНИЙ И ИССЛЕДОВАНИЙ

ВОТК-НОУ (см. рисунок 1) выполнен в виде цилиндрической капсулы со ступенчатой наружной поверхностью общей длиной 4990 мм и с внешним диаметром на уровне активной зоны, равным 76 мм, с максимальным диаметром, равным 82 мм (в районе шарикового замка) и с минимальным диаметром (в районе нижнего торца ВОТК), равным 44 мм.

Крепление ВОТК-НОУ в реакторе осуществляется шариковым замком 19, расположенным на входном участке хвостовика 3 ВОТК-НОУ. Центровка ВОТК-НОУ в реакторе осуществляется с помощью двух посадочных поясов.

Для охлаждения конструктивных элементов реактора, а также в качестве теплоносителя в ВОТК-НОУ применяется вода. Вода из реактора через окна направляющей головки 2 поступает в ВОТК-НОУ, проходит ТВС 4, омывает пробку 22 биозащиты, проходит хвостовик 3 и через торец ВОТК-НОУ выходит в узел отвода воды.

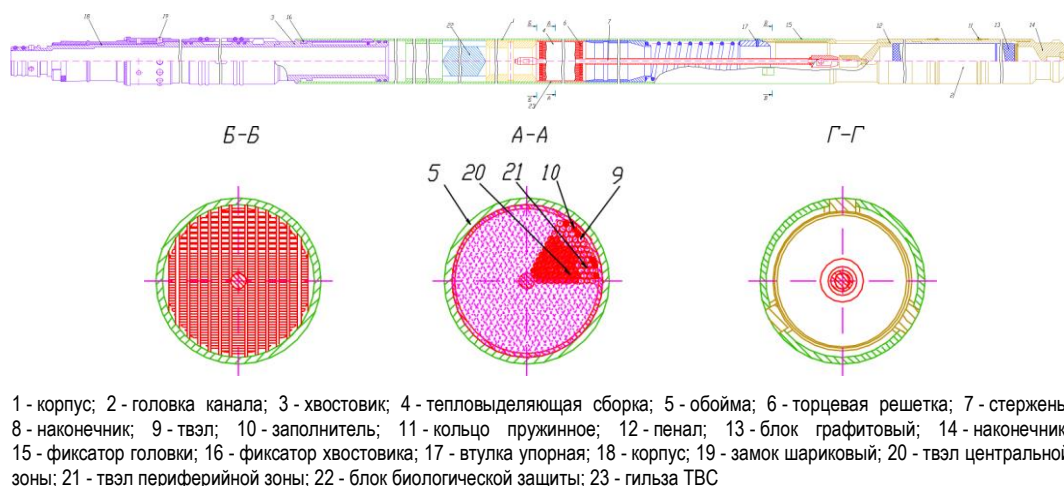


Рисунок 1. Конструктивная схема ВОТК

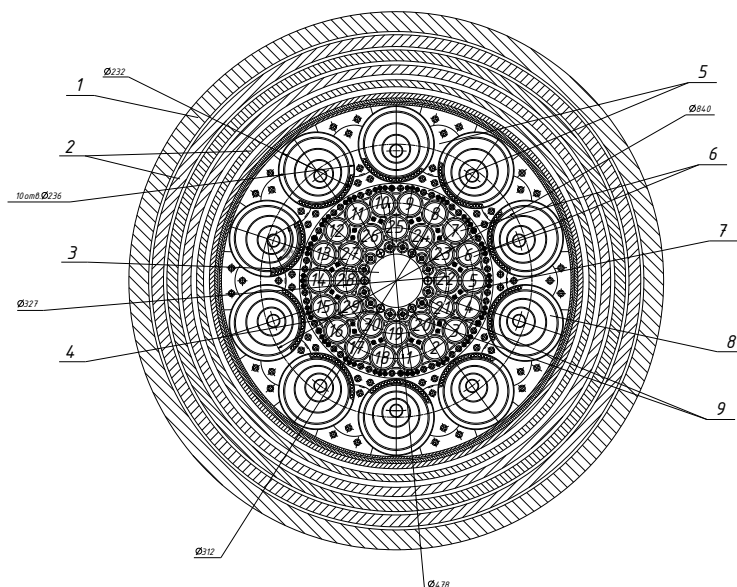


Рисунок 2. Схема поперечного разреза реактора ИВГ.1М

Топливная зона канала набирается из спирально-стержневых двухлопастного профиля твэлов (поперечное сечение 2,8×1,5 мм) с шагом закрутки лопасти 30 мм. Для ВОТК-НОУ первого ряда топливная зона по высоте составляет 800 мм, количество твэлов в пакете составляет 468 шт. Для ВОТК-НОУ третьего ряда топливная зона по высоте составляет 600 мм, количество твэлов в пакете составляет 468 шт. Эквивалентный диаметр активной зоны составляет 548 мм.

Топливо в твэле сделано из урановых нитей в количестве 133 штук с обогащением 19,75 % по U^{235} , впрессованных в циркониевый сплав Э110. Для дис-

танционирования твэлов используется 24 заполнителя из сплава Э110 диаметром 1,6 и 2,2 мм.

2 РЕЗУЛЬТАТЫ ФИЗИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ КРИТИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ИР ИВГ.1М

С сентября по октябрь 2016 года проводились работы по замене штатных ВОТК ячейки № 14 и 24 активной зоны исследовательского реактора (см. рисунок 2) на экспериментальные ВОТК-НОУ, а также физические исследования по проверке критического состояния исследовательского реактора ИВГ.1М после замены штатных ВОТК-ВОУ.

По результатам проведенных физических исследований определено, что эффект реактивности реак-

тора после замены ВОТК-ВОУ третьего ряда на ВОТК-НОУ составил +0,155 $\beta\text{эф}$ Эффект реактивности после замены ВОТК-ВОУ первого ряда на ВОТК-НОУ составил +0,24 $\beta\text{эф}$ Суммарный эффект реактивности реактора после замены двух ВОТК-ВОУ на ВОТК-НОУ составил +0,395 $\beta\text{эф}$.

По предварительным расчетам суммарный эффект реактивности реактора после замены двух ВОТК-ВОУ на ВОТК-НОУ должен был составить +0,34 $\beta\text{эф}$. Из этого следует, что суммарный запас реактивности двух экспериментальных ВОТК-НОУ на +0,055 $\beta\text{эф}$ больше, чем предполагалось ранее.

На данный момент проводятся реакторные испытания на уровне мощности 6 МВт двух экспериментальных ВОТК-НОУ в составе существующей активной зоны для определения соответствия каналов предъявляемым техническим требованиям и получения экспериментальных данных для принятия решения об изготовлении партии штатных каналов и комплектации ими активной зоны реактора ИВГ.1М по результатам испытаний и исследований.

3 СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ВОТК

С 18 октября 2017 года на исследовательском реакторе провели 14 реакторных испытаний двух экспериментальных ВОТК-НОУ. Суммарное энерговыделение по нейтронной мощности реактора составило 278,2 МВт×час.

№	Дата	ПУСК	Длительность, мин	Энерговыделение за пуск, МВт×час
1	18 октября 2017 года.	П-17-05	336	33,6
2	22 ноября 2017 года	П-17-06	266	26,6
3	29 ноября 2017 года	П-17-07	180	18
4	12 декабря 2017 года	П-17-08	190	19
5	21 декабря 2017 года	П-17-09	170	17
6	11 января 2018 года	П-18-01	190	19
7	25 января 2018 года	П-18-02	200	20
8	08 февраля 2018 года	П-18-03	200	20
9	22 февраля 2018 года	П-18-04	180	18
10	06 марта 2018 года	П-18-05	170	17
11	28 марта 2018 года	П-18-06	210	21
12	13 апреля 2018 года	П-18-07	90	9
13	24 апреля 2018 года	П-18-08	200	20
14	15 мая 2018 года	П-18-09	200	20
Суммарное энерговыделение				278,2

Во время проведенных реакторных испытаний технологические параметры (расход, давление, температура) ВОТК регистрировались подсистемой контрольно-измерительных приборов и автоматики информационно-измерительной системы с частотой один раз в секунду.

По зарегистрированным данным была проведена сравнительная оценка технологических параметров ВОТК-НОУ с ВОТК-ВОУ.

Давление воды в ВОТК-НОУ ячейки активной зоны реактора № 14 и 24 во время проведения пуска практически единично с остальными ВОТК-ВОУ.

Расход воды через ВОТК-НОУ ячейки № 14 активной зоны реактора лежит в пределах среднего расхода воды через ВОТК третьего ряда и равен 1,82 кг/с, а расход воды через ВОТК-НОУ ячейки № 24 больше среднего расхода воды через ВОТК первого ряда на 0,2 кг/с, и равен 2,25 кг/с.

Средний нагрев воды в ВОТК-НОУ ячейки № 14 активной зоны реактора выше среднего нагрева воды ВОТК третьего ряда на 1,5 °С, а нагрев воды в ВОТК-НОУ ячейки № 24 активной зоны реактора соответствует среднему нагреву воды в ВОТК первого ряда.

4 ВЫГОРАНИЕ ТОПЛИВА ПО U^{235}

Основной задачей реакторных испытаний является достижение выгорания по U^{235} – 1,82 грамма для каждого экспериментального канала и флюенса – 10^{18} н/см².

Количество выгоревшего (т.е. разделившегося и претерпевшего радиационный захват U^{235}) при работе исследовательского реактора ИВГ.1М на мощности N (МВт) в течение времени t (час) при энерговыработке Q (МВт×час)) урана-235 для каждого канала можно найти по формуле [1]:

$$m_{\text{выг}} = 51 \cdot 10^{-3} N t = 0,051 Q$$

где 0,051 – удельный расход топлива, г/МВт×час; Q – поканальное энерговыделение, МВт×час.

Поканальное энерговыделение

$$Q = N t$$

где N – поканальная мощность, МВт; t – продолжительность пуска, с.

Ввиду отсутствия данных по поканальной нейтронной мощности, целесообразно рассчитать поканальную тепловую мощность:

$$N_{\text{канала}} = 4183 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}^\circ\text{C}} G t (T_2 - T_1)$$

где G – поканальный расход воды, кг/с; t – время, с; T_2 – температура воды на выходе из канала; °С; T_1 – температура воды на входе в реактор; °С.

На момент проведенного последнего пуска реактора рассчитано выгорание U^{235} в ВОТК-НОУ ячеек № 14 и № 24, значение которого:

- по каналу № 14 активной зоны реактора составляет 0,44 грамма;
- по каналу № 24 активной зоны реактора составляет 0,56 грамма.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Запас реактивности экспериментальных ВОТК-НОУ соответствует расчетным значениям.

2. Технические параметры (расход, давление, разница температуры) двух экспериментальных ВОТК-НОУ соответствует предъявляемым требованиям.

3. На данный момент было достигнуто выгорание по урану-235 для канала № 14 активной зоны реактора 24 % и для канала № 24 активной зоны реактора 31 % от требуемых выгорания топлива по U^{235} 1,82 грамма и флюенса 10^{18} н/см².

ЛИТЕРАТУРА

1. Нигматулин И.Н., Нигматулин Б.И. Ядерные энергетические установки: Учебник для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 168 с.: ил.
2. Протокол входного контроля твэлов ВОТК-НОУ реактора ИВГ.1М № 01-600-18/957вн от 16.06.2016 года.
3. Протокол определения содержания U^{235} в твэлах ВОТК-НОУ реактора ИВГ.1М № 13-240-02/1091вн от 04.07.2016 года.
4. Акт готовности ВОТК-НОУ к загрузке в реактор ИВГ.1М № 37-370-01/1174вн от 21.07.2016 года.
5. Акт загрузки активной зоны реактора ИВГ.1М № 37-370-01/121а от 30.01.2017 года.
6. Отчет. Загрузка ВОТК-НОУ в реактор № 37-370-01/1758вн от 08.11.2016 года.

«ИВГ.1М ЗЕРТТЕУ РЕАКТОРЫНЫҢ КОНВЕРСИЯСЫ АЯСЫНДА ТӨМЕН БАЙЫТЫЛҒАН ОТЫНЫ БАР СУМЕН САЛҚЫНДАТЫЛАТЫН ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ КАНАЛДАРДЫҢ РЕАКТОРЛЫҚ СЫНАҚТАРЫ» МАҚАЛАСЫНА

М.К. Скаков, А.Д. Вурим, В.С. Гныря, А.С. Азимханов, А.Н. Колбаенков, И.К. Дербышев, Е.Б. Нуржанов

ҚР ҰЯО РМК «Атом энергиясы институты» филиалы, Курчатов, Қазақстан

Каналдарға қойылған техникалық талаптарға сәйкестігін анықтау және штаттық каналдардың партиясын жасау туралы және сынақтар мен зерттеулердің нәтижелері бойынша реактордың активтік аумағын жинақтау туралы шешім қабылдау үшін қажетті эксперименттік мәліметтерді алу мақсатында ИВГ.1М зерттеу реакторында төмен байытылған уран отыны бар эксперименттік сумен салқындатылатын технологиялық каналдарды реакторлық сынау жүргізілуде.

Осы мақалада төмен байытылған уран отыны бар эксперименттік сумен салқындатылатын технологиялық каналдарды реакторлық сынауды жүргізген уақытындағы технологиялық параметрлердің (шығыны, қысымы, температурасы) салыстырмалы бағасының нәтижелері және ИВГ.1М зерттеу реакторының жүзеге асырылған іске қосулары бойынша төмен байытылған уран отыны бар эксперименттік сумен салқындатылатын технологиялық каналдарда U^{235} жанып біту есебінің нәтижелері келтірілген.

IN-PILE TESTS OF WATER-COOLED TECHNOLOGICAL CHANNELS WITH LOW-ENRICHED URANIUM FUEL WITHIN CONVERSION OF IVG.1M RESEARCH REACTOR

M.K. Skakov, A.D. Vurim, V.S. Gnyrya, A.S. Azimkhanov, A.N. Kolbayenkov, I.K. Derbyshev, Ye.B. Nurzhanov

Branch "Institute of Atomic Energy" RSE NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan

IVG.1M research reactor performs tests of WCTCs-LEU in order to determine whether channels correspond to technical requirements or not and to obtain experimental data necessary to take a decision concerning manufacture of a batch of standard channels and their insertion into reactor core based on results of tests and researches.

The paper presents results of comparative assessment of technological parameters (flow rate, pressure, temperature) during in-pile testing of WCTCs-LEU and results of U^{235} burn-out calculation in WCTCs-LEU according to implemented start-ups of IVG.1M research reactor.