

ЯДЕРНЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ, ТОПЛИВНЫЙ ЦИКЛ, РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ/NUCLEAR POWER PLANTS, FUEL CYCLE, RADIATION SAFETY

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.160s.16>

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ СТЕНД ПАССИВНОЙ СИСТЕМЫ ОТВОДА ОСТАТОЧНЫХ ТЕПЛОВЫДЕЛЕНИЙ ОТВС ШАХТЫ-ХРАНИЛИЩА

Научная статья

Глухов С.М.^{1,*}, Чалпанов С.В.², Ташлыков О.Л.³

² ORCID : 0009-0001-8243-056X;

³ ORCID : 0000-0001-6397-015X;

^{1, 2, 3} Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, Екатеринбург, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (stepmihgl[at]mail.ru)

Аннотация

В данной работе представлены результаты проведения эксперимента по обоснованию и апробированию конструкции испарительного модуля и принципа действия системы пассивного теплоотвода остаточных тепловыделений облученных тепловыделяющих сборок на исследовательских ядерных реакторах. Представлены результаты испытаний созданного экспериментального стенда в режимах: жидкостно-жидкостный, жидкостно-двухфазный, расхолаживание, а также приведены основные значения теплогидравлических характеристик (расход, температура, мощность теплоотвода и др.) стенда. Представлена и описана схема, принцип работы стенда, приведены фотографии созданной установки. В ходе проведения эксперимента выявлены некоторые недоработки предлагаемой конструкции, предложены методы совершенствования.

Ключевые слова: шахта-хранилище, облученная тепловыделяющая сборка, система пассивного отвода тепла, двухфазный термосифон, легкокипящий теплоноситель.

EXPERIMENTAL STAND OF A PASSIVE RESIDUAL HEAT DISSIPATION SYSTEM SFAS OF A STORAGE MINE

Research article

Glukhov S.M.^{1,*}, Chalpanov S.V.², Tashlykov O.L.³

² ORCID : 0009-0001-8243-056X;

³ ORCID : 0000-0001-6397-015X;

^{1, 2, 3} Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russian Federation

* Corresponding author (stepmihgl[at]mail.ru)

Abstract

This work presents the results of the experiment on substantiation and validation of the evaporator module design and the principle of operation of the system of passive heat dissipation of residual heat emissions of irradiated fuel assemblies at research nuclear reactors. The results of tests of the created experimental bench in the modes: liquid-liquid, liquid-two-phase, cooldown are given, as well as the main values of thermal-hydraulic characteristics (flow rate, temperature, heat dissipation power, etc.) of the bench are provided. The scheme, principle of operation of the bench is presented and described, photos of the created installation are given. In the course of the experiment some shortcomings of the proposed design are identified, methods of improvement are suggested.

Keywords: storage well, irradiated fuel assembly, passive heat dissipation system, two-phase thermosiphon, low boiling coolant.

Введение

Научно-исследовательская деятельность Госкорпорации Росатом направлена на создание новых решений для энергетики и инновационных технологий, повышающих качество жизни людей.

Одним из таких решений является внедрение пассивных систем безопасности на объектах использования атомной энергии [1], [2].

Внедрение систем пассивного теплоотвода для использования на исследовательских установках не только повышает безопасность самой установки [3], но и конкурентоспособность на рынке [4].

Предлагаемая система пассивного отвода остаточных тепловыделений [5] гарантирует не только безопасную эксплуатацию ИЯУ, но также повышает конкурентоспособность новых ИЯУ, а также возможность ее внедрения на уже работающих установках.

Объект исследования

Объектом исследования является шахта-хранилище исследовательского ядерного реактора ИВВ-2М. Шахта-хранилище (ШХ) предназначена для хранения облученных тепловыделяющих сборок (ОТВС) и отвода их остаточных тепловыделений. При штатной работе ШХ отвод тепла осуществляется за счет принудительной циркуляции теплоносителя в контуре охлаждения, а также за счет рассеяния теплоты через конструктивные элементы, окружающие ШХ.

Шахта-хранилище (рис.1) состоит из одного стационарного сепаратора и четырех съемных сепараторов. Временная выдержка ОТВС осуществляется расположением их в три яруса друг над другом.

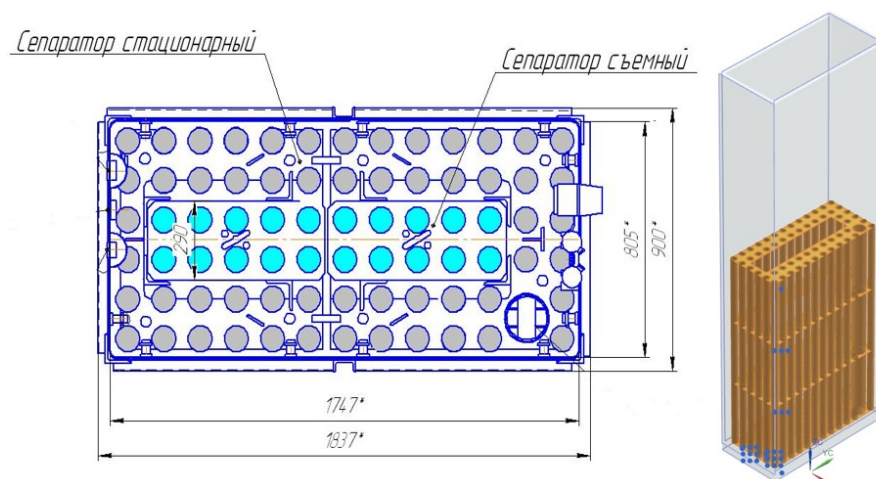


Рисунок 1 - Шахта-хранилище ИЯР ИВВ-2М
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.160s.16.1>

Образцы и методика эксперимента

Разработанный экспериментальный стенд пассивного отвода тепла (СПОТ), состоящий из испарительной, конденсационной частей и подъемно-опускных каналов (рис. 2), создан на основе конструктивных особенностей ШХ ИЯР ИВВ-2М, трехмерных моделей [6] и проведенных теоретико-экспериментальных исследований [7].

Испарительный модуль представляет собой объем образуемый двумя коаксиально расположенными трубами, образующими кольцевой зазор. За счет зазора (1) создается общий герметичный объем с нижним (7) и верхним (4) объемами для теплоносителя в жидкой и газообразной фазе соответственно. В том числе испарительный модуль включает в себя два штуцера (3) подъема газообразной фазы и одним штуцером (6) возврата конденсата.

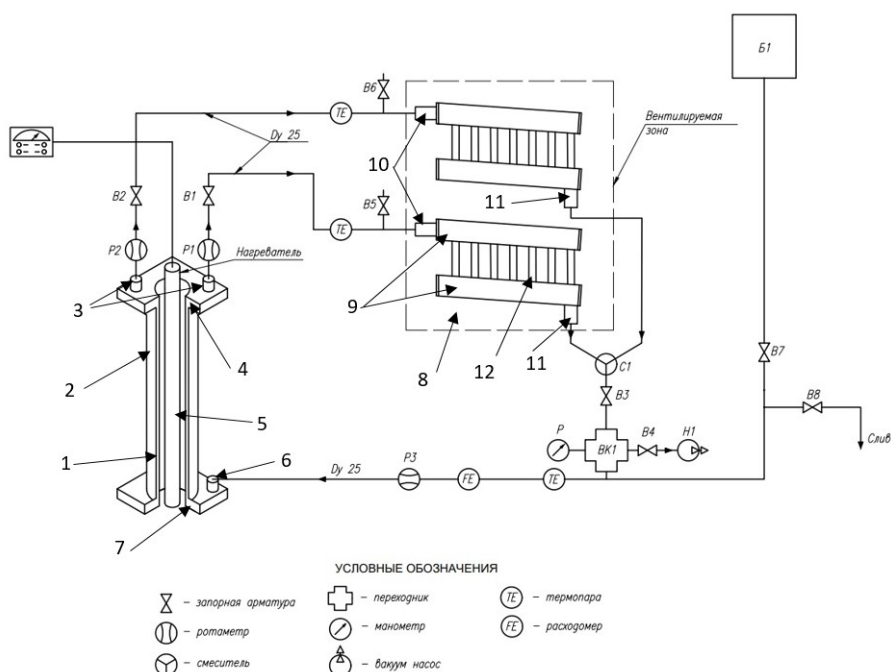


Рисунок 2 - Схема экспериментальной установки
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.160s.16.2>

Примечание: 1 – кольцевой зазор; 2 – испарительный модуль; 3 – подъемные патрубки; 4 – верхняя камера испарительного модуля; 5 – нагреватель; 6 – патрубок возврата конденсата; 7 – нижняя камера испарительного

модуля; 8 – конденсатор в вентилируемом пространстве; 9 – коллекторы конденсата; 10 – патрубки входа; 11 – патрубки выхода; 12 – оребренные соединительные трубки

Конденсационная часть выполнена из двух блоков (8), соединенных перемычками. Каждый блок конденсатора имеет два сборных коллектора (9). К верхнему коллектору приварен патрубок входа газообразной фазы (10), а к нижнему патрубок возврата конденсата (11) по опускному каналу. Для увеличения площади теплоотдачи от теплоносителя к окружающему воздуху коллекторы соединены с использованием оребренных трубок (12).

Подъемно-опускные каналы представляет собой металлопластиковые трубы, соединяющие между собой испарительную и конденсационную части. В тракт врезаны ротаметры (без поплавков) для визуального контроля потока теплоносителя, запорная арматура, термодары ТХА, вакуумный насос, счетчик воды.

Испарительный модуль, конденсационная часть и подъемно-опускной тракт крепится с использованием резьбовых соединений. Каждый подъемный канал оснащен запорной арматурой и ротаметрами. Конденсатный канал состоит из двух труб, связанных с патрубками выхода коллекторов конденсатора и объединенные с помощью фитинга. Также конденсатный канал оснащен запорной арматурой, вакуумным насосом и манометром.

Испарительный модуль устанавливается в заполненный водой бак. Внутри испарительного модуля располагается нагреватель имитирующий ОТВС (рис. 3а) мощностью 2,4 кВт, что соответствует среднему расчётному значению остаточных тепловыделений одной ОТВС [8]. Для снятия показаний температуры с нагревателя и по высоте бака к ним по высоте прикреплены три термоэлектрических преобразователя типа ТХА. Значения температур поступают через преобразователи ADAM 4014 на компьютер (рис. 3б). Теплота от конденсатора (рис. 3в) отводится с использованием вентилятора. Анемометр использовался для измерения скорости воздуха около конденсационной части.

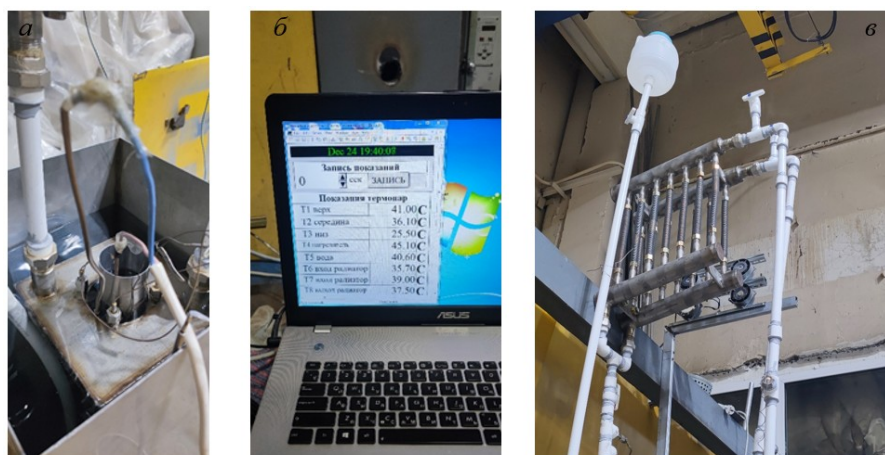


Рисунок 3 - Составные части экспериментального стенда:

а – нагреватель; б – вывод показаний термодар; в – конденсационная часть с вентилятором

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.160s.16.3>

В качестве легкокипящего теплоносителя были выбраны этиловый спирт при температуре кипения 78,3°C и вода под разряжением с температурой кипения 80°C, для достижения требуемой температуры кипения необходимо создание давления в контуре равного 49 кПа, для данной цели в контуре установлен вакуумный насос.

Для проверки контура на герметичность были проведены гидроиспытания (опрессовка) системы избыточным давлением, за счет создания давления, превышающего рабочее, для выявления потенциально возможных мест образования дефектов, течей.

Для герметизации (уплотнения) резьбовых соединений контура изначально применялась уплотнительная лента из политетрафторэтилена, после проведения опрессовки выявлены течи контура и уплотнительная лента была заменена на сантехнический лен и герметик.

На первоначальном этапе эксперимента в качестве рабочей жидкости выбран этиловый спирт, что связано с трудностями создания идеально герметичного контура, при котором давление в контуре будет поддерживаться на одном уровне без включения вакуумного насоса.

При нагреве контура СПОТ объем рабочей жидкости увеличивается, что приводит к увеличению давления в контуре. Функцию компенсатора давления выполняет расширительный бак Б1, расположенный выше конденсатора. Линия подвода рабочей жидкости к баку компенсации давления оснащена запорной арматурой В7, которая закрывается при проверке контура на герметичность.

Для вытеснения воздуха из контура в него были вварены воздушники с запорной арматурой В5, В6 расположенные в верхней точке контура СПОТ.

Результаты и обсуждение

Методология исследования подразумевает экспериментальное изучение процессов в системе [9]. Весь объем системы был заполнен этиловым спиртом. Исследование проводилось в следующих режимах:

1. Жидкостно-жидкостный режим;
 2. Жидкостно-двухфазный режим;
 3. Жидкостно-двухфазный с отключенным подъемным каналом;
 4. Режим расхолаживания (нагрев воды в баке до 80 °С с последующим отключением нагревателя).
- Далее более подробно описаны каждый из экспериментальных режимов работы стенда.

4.1. Жидкостно-жидкостный режим

Данный режим соответствует нормальному режиму эксплуатации ШХ [10] и характеризуется температурами теплоносителя меньшими температуры кипения этилового спирта $t_k = 78,3$ °С. Контур циркуляции СПОТ был открыт при включении нагревателя, был включен вентилятор (имитирующий вытяжную трубу), который создавал скорость воздуха перед конденсатором 0,55 м/с и 0,3 м/с за конденсатором.

Избыточное давление в контуре СПОТ создавалось за счет столба жидкости и было равным $0,1 \frac{\text{кг} \cdot \text{с}}{\text{см}^2}$ или 9,8 кПа. Температура окружающего воздуха на протяжении всего эксперимента была равна 26 °С, начальная температура воды в баке 29,5 °С.

После включения нагревателя сразу была достигнута естественная циркуляция рабочего тела. На рис. 4 представлены результаты измерений ключевых параметров.

При достижении температуры 55 °С зафиксировано образование пузырьков газа в контуре, что связано с высокой растворимостью газов в теплоносителе, в результате чего расход снизился и не имел определенной картины движения во время дальнейшего поднятия температуры. Максимальная мощность теплоотвода в данном режиме составила 466 Вт.

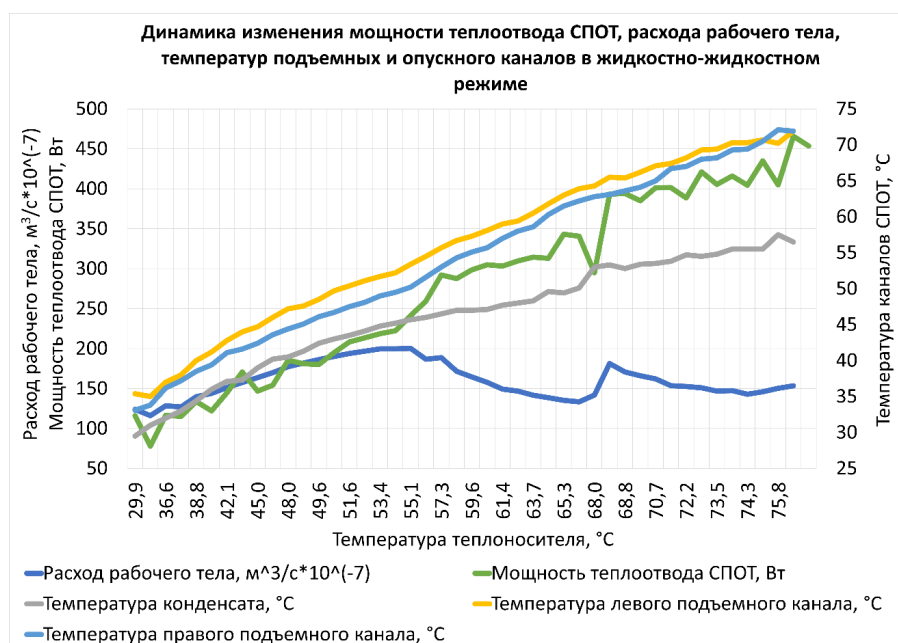


Рисунок 4 - Динамика изменения теплогидравлических параметров в жидкостно-жидкостном режиме
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.160s.16.4>

4.2. Жидкостно-двухфазный режим

Данный режим соответствует нарушению условий нормальной эксплуатации ШХ и характеризуется температурами теплоносителя выше температуры кипения этилового спирта $t_k = 78,3$ °С. Контур циркуляции СПОТ был перекрыт до достижения температуры теплоносителя 75 °С, а также был включен вентилятор, который создавал скорость воздуха перед конденсатором 0,55 м/с и 0,3 м/с за конденсатором.

При открытии контура циркуляции одновременно открывались все запорные арматуры на каналах, что привело к резкому увеличению температуры в правом подъемном канале на 40 °С, при этом температура левого подъемного канала изменилась всего на 1 °С. Такая разность температур предположительно связана с различным гидравлическим сопротивлением: поток горячего рабочего тела и его паров с верхней камеры резко поступил в правый канал, что привело к уменьшению давления и резкому увеличению расхода в нем. Для стабилизации работы установки был перекрыт правый канал для стабилизации параметров левого канала.

После второго полного открытия контура расход спирта был только при подъеме пара по правому каналу. Температура левого канала увеличивалась очень медленно до тех пор, пока температура правого канала не начала резко падать, и температурный градиент составил 15 - 18 °С, что привело к резкому увеличению расхода. Для стабилизации температур были открыты воздушники. Далее работа установки стабилизировалась, результаты измерения основных теплофизических параметров приведены на рис. 5.

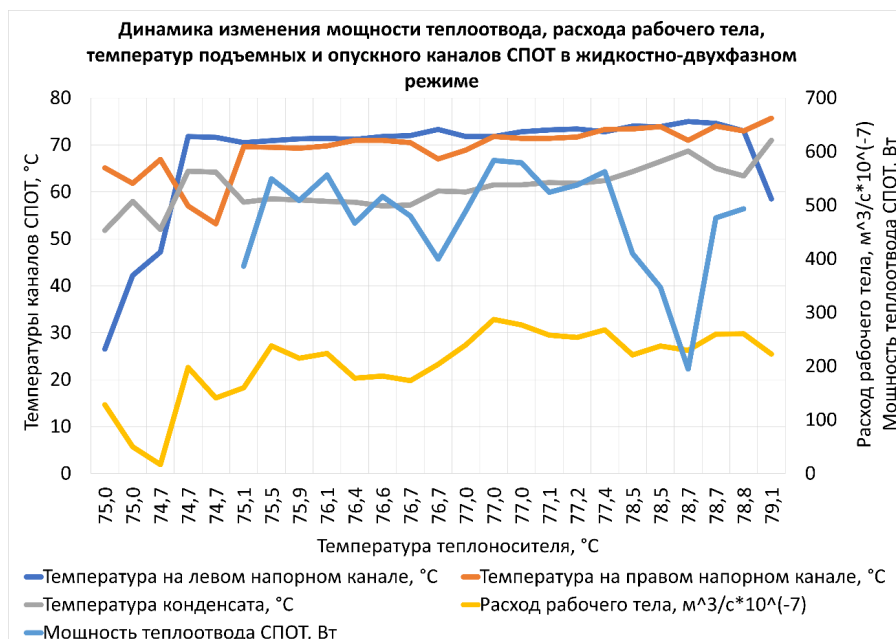


Рисунок 5 - Динамика изменения теплогидравлических параметров в жидкостно-двухфазном режиме
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.160s.16.5>

После открытия контура циркуляции СПОТ температуры подъемных каналов резко изменялись из-за чего было невозможно рассчитать мощность теплоотвода установки. Далее по мере нагрева воды в баке температуры подъемных каналов не только сравнивались, но и начали колебаться относительно друг друга. При температуре воды в баке 77 °C мощность достигла максимального значения 584 Вт и температура теплоносителя стала изменяться очень медленно, поэтому для ускорения процесса нагрева был отключен вентилятор.

После отключения вентилятора разница температур на подъемных и опускном каналах уменьшилась, что привело к падению мощности при температуре теплоносителя в баке 77,4 °C. При температуре воды в баке 78,7 °C на ротаметре опускного канала зафиксированы мелкие частицы пара, которые после больше не были замечены. Также при этой же температуре наблюдалось резкое снижение мощности теплоотвода с 347 Вт до 194 Вт, обусловленное увеличением температуры этилового спирта в опускном канале, но в дальнейшем мощность увеличилась до 450 Вт.

4.3. Жидкостно-двухфазный режим с отключенным подъемным каналом

При достижении теплоносителем 79,1 °C температура левого подъемного канала начала резко падать. Вероятно, это связано с тем, что в правом канале уменьшилось давление из-за увеличения расхода в связи с увеличением количества пара. Падение температуры на левом канале привело к невозможности расчета отводимой тепловой мощности, поэтому было принято решение перекрыть левый канал, но включить вентилятор. На рис. 6 представлена динамика изменения основных параметров СПОТ при работе только правого подъемного канала.

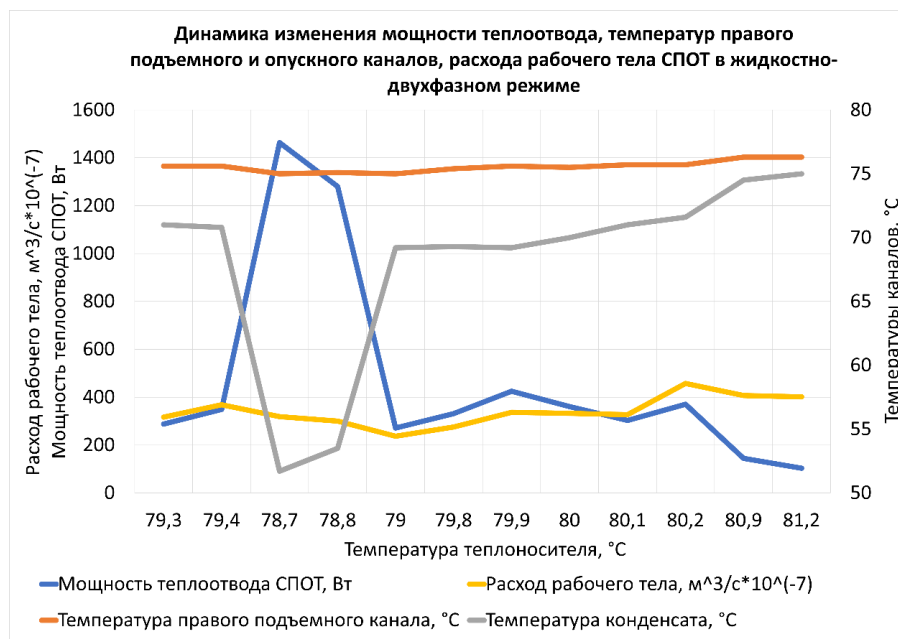


Рисунок 6 - Динамика изменения теплогидравлических параметров в жидкостно-двухфазном режиме с отключенным подъемным каналом

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.160s.16.6>

При отключении подъемного канала при температуре 78,7 °C наблюдалось быстрое увеличение мощности теплоотвода до 1464 Вт, но спустя короткий отрезок времени мощность снизилась до 288 Вт и в дальнейшем упала до 103 Вт.

4.4. Расхолаживание

В данный режим исследовались изменений теплогидравлических характеристик СПОТ при отводе тепла от бака с температурой теплоносителя 78,9 °C, но с отсутствием источников тепла. Контур циркуляции был закрыт на время нагрева теплоносителя, после открытия дополнительно включался вентилятор, который создавал скорость воздуха перед конденсатором 0,55 м/с и 0,3 м/с за конденсатором. Скорость воздуха была измерена анемометром.

Избыточное давление в контуре СПОТ создавалось за счет столба жидкости и было равным $0,1 \frac{\text{кг} \cdot \text{с}}{\text{см}^2}$ или 9,8 кПа.

Температура окружающего воздуха на протяжении всего эксперимента была равна 26 °C.

Нагрев теплоносителя в баке предполагался до более высокой температуры, но из-за полного заполнения ротаметра на правом подъемном канале паром было принято решение отключить нагреватель и открыть контур циркуляции СПОТ при температуре воды в баке 78,9 °C. После замеченных ранее особенностей работы стенда в первую очередь открывались левый подъемный и возвратный каналы, а после выравнивания температуры на левом подъемном канале, открывался правый. Такая очередность позволила ввести СПОТ в работу быстрее и с меньшими колебаниями на подъемных каналах, как это было в жидкостно-двухфазном режиме. На рис. 7 представлена динамика изменений основных тепловых параметров в режиме расхолаживания.

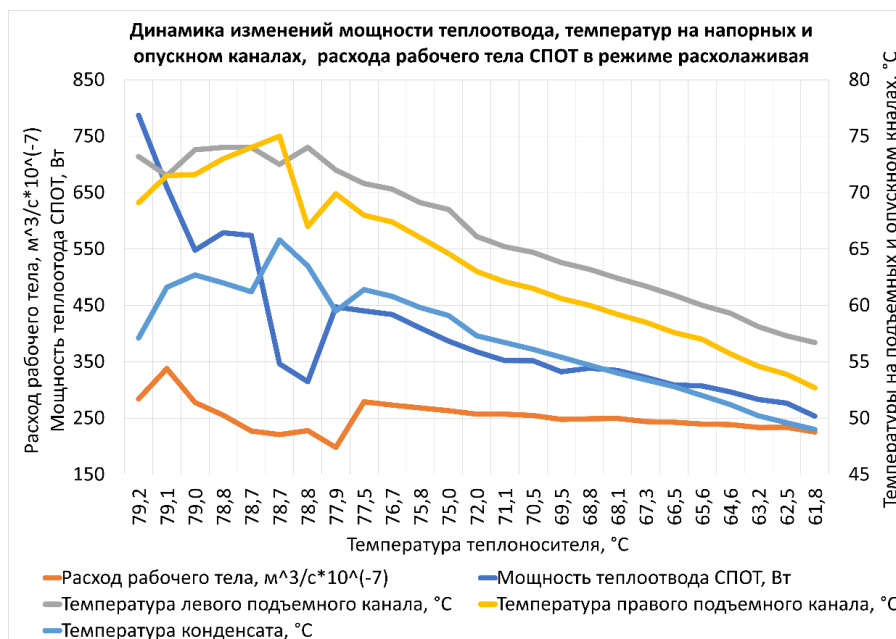


Рисунок 7 - Динамика изменения теплогидравлических параметров в режиме расхолаживания
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.160s.16.7>

Колебания в контуре подъемных каналов оставались вплоть до температуры воды в баке равной 77,9 °C, связанные с образованием и подъемом пузырьков пара в правом канале. При достижении температуры воды в баке равной 77,9 °C наблюдается стабилизация процессов и основные показатели снижаются линейно. Максимальная расчетная мощность в данном режиме была достигнута равной 787 Вт при температуре воды 79,2 °C.

Заключение

Результаты испытаний экспериментального стенда подтвердили работоспособность предлагаемой конструкции испарительного модуля пассивной системы отвода остаточных тепловыделений облученных тепловыделяющих сборок при полном заполнении контура теплоносителем.

Мощность теплоотвода рассматриваемого экспериментального стенда варьируется в диапазоне от 103 до 1464 Вт, что позволит надежно отводить тепло при наладке стабильной работы установки.

Определены узлы экспериментального стенда, требующие совершенствования их геометрических характеристик. Требуется доработка конструкции испарительного модуля в связи с неравномерностью поступления теплоносителя в подъемные каналы.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Ташлыков О.Л. Опыт подготовки специалистов для атомной отрасли в уральском федеральном университете «через науку». / О.Л. Ташлыков, С.Е. Щеклеин // Известия высших учебных заведений. Ядерная энергетика. — 2024. — 4. — С. 202–218. — DOI: 10.26583/np.2024.4.17
2. Глухов С.М. Разработка системы пассивного расхолаживания шахты-хранилища ИЯУ ИВВ-2М. / С.М. Глухов, Е.Д. Стругов, О.Л. Ташлыков. // Будущее атомной энергетики — AtomFuture 2021; — Обнинск: Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», 2021. — С. 76–77.
3. Шумков Д.Е. Повышение надежности охлаждения облученных топливных сборок в шахте-хранилище исследовательского реактора ИВВ-2М. / Д.Е. Шумков, С.С. Мингалимов, О.Л. Ташлыков. // Инновации в атомной энергетике; — Москва: АО «НИКИЭТ», 2019. — С. 705–711.
4. Шумков Д.Е. Обеспечение безопасности эксплуатации и хранения ОТВС ИЯУ ИВВ-2М с использованием системы пассивного расхолаживания шахты-хранилища. / Д.Е. Шумков, О.Л. Ташлыков, С.М. Глухов // Вопросы атомной науки и техники. — 2023. — 3. — С. 115–124.
5. Пат. 2829090 Российская Федерация, МПК G21C 9/00. Устройство пассивного отвода остаточных тепловыделений / Ташлыков О.Л., Шумков Д.Е., Чалпанов С.В.; заявитель и патентообладатель Уральский

федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина. — № 2024104941; заявл. 2024-02-28; опубл. 2024-10-23, — 9 с.

6. Глухов С.М. Моделирование системы пассивного отвода тепла от шахты-хранилища исследовательского ядерного реактора ИВВ-2М при помощи термосифонов. / С.М. Глухов, В.А. Климова, О.Л. Ташлыков. // Физика. Технологии. Инновации; — Екатеринбург: УрФУ, 2021. — С. 982–984.

7. Van Thuong T. Experimental and theoretical justification of passive heat removal system for irradiated fuel assemblies of the nuclear research reactor in a spent fuel pool. / T. Van Thuong, O.L. Tashlykov, S.M. Glukhov // Nuclear Engineering and Technology. — 2023. — 6. — P. 2088–2095. — DOI: 10.1016/j.net.2023.02.028

8. Глухов С.М. Расчетная оценка остаточных тепловыделений ОТВС в бассейнах выдержки. / С.М. Глухов, Д.Е. Шумков, О.Л. Ташлыков // Международный научно-исследовательский журнал. — 2024. — S5(143). — DOI: 10.60797/IRJ.2024.143.155

9. Chalpanov S.V. The methodology of experimental research of the stand-emulator of the passive cooling system of the holding pool of a research nuclear reactor. / S.V. Chalpanov, O.L. Tashlykov, S.M. Glukhov // International Scientific Journal Alternative Energy and Ecology. — 2024. — 6(423). — P. 38–49. — DOI: 10.15518/isjaee.2024.06.038-049

10. Shumkov D.E. Experimental investigations of temperature conditions in the storage pit of IVV-2M research nuclear reactor. / D.E. Shumkov, O.L. Tashlykov, S.M. Glukhov // Nuclear Engineering and Technology. — 2022. — 55 (2023) 2088–2095. — DOI: 10.1063/5.0088848

Список литературы на английском языке / References in English

1. Tashly'kov O.L. Opy't podgotovki specialistov dlya atomnoj otrasli v ural'skom federal'nom universitete «cherez nauku» [Experience of "Via Science" Personnel Training for Nuclear Industry at the Ural Federal University]. / O.L. Tashly'kov, S.E. Shheklein // News of higher educational institutions. Nuclear power industry. — 2024. — 4. — P. 202–218. — DOI: 10.26583/npe.2024.4.17 [in Russian]

2. Gluxov S.M. Razrabotka sistemy' passivnogo rasxolazhivaniya shaxty'-xranilishha IYaU IVV-2M [Development of a passive cooling system for the IYaU IVV-2M nuclear power plant storage mine]. / S.M. Gluxov, E.D. Strugov, O.L. Tashly'kov. // The Future of Nuclear energy — AtomFuture 2021; — Obninsk: Nacional'ny'j issledovatel'skij yadernyj universitet «MIFI», 2021. — P. 76–77. [in Russian]

3. Shumkov D.E. Povy'shenie nadezhnosti oxlazhdeniya obluchenny'x toplivny'x sborok v shaxte-xranilishhe issledovatel'skogo reaktora IVV-2M [Improving the reliability of cooling irradiated fuel assemblies in the storage shaft of the IVV-2M research reactor]. / D.E. Shumkov, S.S. Mingalimov, O.L. Tashly'kov. // Innovations in nuclear energy; — Moscow: AO «NIKIE'T», 2019. — P. 705–711. [in Russian]

4. Shumkov D.E. Obespechenie bezopasnosti e'kspluatacii i xraneniya OTVS IYaU IVV-2M s ispol'zovaniem sistemy' passivnogo rasxolazhivaniya shaxty'-xranilishha [Ensuring the safety of operation and storage of SFAS IYaU IVV-2M using the passive cooling system of the storage mine]. / D.E. Shumkov, O.L. Tashly'kov, S.M. Gluxov // Issues of atomic science and technology. — 2023. — 3. — P. 115–124. [in Russian]

5. Pat. 2829090 Russian Federation, IPC G21C 9/00. Ustrojstvo passivnogo otvoda ostatocny'x teplovy'delenij [Passive heat dissipation device] / Tashly'kov O.L., Shumkov D.E., Chalpanov S.V.; the applicant and the patentee Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin. — № 2024104941; appl. 2024-02-28; publ. 2024-10-23, — 9 p. [in Russian]

6. Gluxov S.M. Modelirovanie sistemy' passivnogo otvoda tepla ot shaxty'-xranilishha issledovatel'skogo yadernogo reaktora IVV-2M pri pomoshhi termosifonov [Simulation of the passive heat removal system from the storage shaft of the IVV-2M research nuclear reactor using thermosiphons]. / S.M. Gluxov, V.A. Klimova, O.L. Tashly'kov. // Physics. Technologies. Innovation; — Ekaterinburg: UrFU, 2021. — P. 982–984. [in Russian]

7. Van Thuong T. Experimental and theoretical justification of passive heat removal system for irradiated fuel assemblies of the nuclear research reactor in a spent fuel pool. / T. Van Thuong, O.L. Tashlykov, S.M. Glukhov // Nuclear Engineering and Technology. — 2023. — 6. — P. 2088–2095. — DOI: 10.1016/j.net.2023.02.028

8. Gluxov S.M. Raschetnaya ocenka ostatocny'x teplovy'delenij OTVS v bassejnax vy'derzhki [Estimated estimation of residual SFAS heat emissions in holding pools]. / S.M. Gluxov, D.E. Shumkov, O.L. Tashly'kov // International Research Journal. — 2024. — S5(143). — DOI: 10.60797/IRJ.2024.143.155 [in Russian]

9. Chalpanov S.V. The methodology of experimental research of the stand-emulator of the passive cooling system of the holding pool of a research nuclear reactor. / S.V. Chalpanov, O.L. Tashlykov, S.M. Glukhov // International Scientific Journal Alternative Energy and Ecology. — 2024. — 6(423). — P. 38–49. — DOI: 10.15518/isjaee.2024.06.038-049

10. Shumkov D.E. Experimental investigations of temperature conditions in the storage pit of IVV-2M research nuclear reactor. / D.E. Shumkov, O.L. Tashlykov, S.M. Glukhov // Nuclear Engineering and Technology. — 2022. — 55 (2023) 2088–2095. — DOI: 10.1063/5.0088848