

РЕГУЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ В АМПУЛЬНОМ КАНАЛЕ С ЕСТЕСТВЕННОЙ ЦИРКУЛЯЦИЕЙ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ

Т.А. Осипова, В.А. Старков, В.А. Узиков

АО «ГНЦ НИИАР», 433510, Ульяновская обл., г. Димитровград-10

Р

Расчетным путем показано, что в ампульном канале с естественной циркуляцией теплоносителя с предложенной гидравлической схемой можно значительно расширить возможности регулирования температурного режима на образцах при облучении в ячейке отражателя реакторной установки СМ-3 за счет изменения геометрии циркуляционного контура путем создания байпасного участка теплоотвода, который образуется в верхней части над ограничителем потока, по сравнению с регулированием только за счет изменения теплопроводности газового зазора корпуса канала (давлением или составом газов). Представлены условия испытаний, схема и расчетная модель ампульного канала для теплогидравлического анализа в коде RELAP5/MOD3.2. Проведено исследование влияния байпасного контура охлаждения на температурный режим облучения образцов в ампульном канале. Изменение расхода байпаса осуществляется за счет изменения площади проходного сечения отверстия в ограничителе потока. Рассмотрены варианты заполнения газовой полости корпуса канала гелием и смесью гелия и азота. Расчет показал, что мощность, отводимая байпасной линией, может достигать 40% от общей мощности тепловыделения в канале. При использовании гелия в зазоре корпуса канала регулирование температурного режима облучения осуществляется в более широком диапазоне (200 – 330 °С), чем при использовании смеси газов с более низкой теплопроводностью (279 – 330 °С), при этом основное изменение температуры происходит при площади зазора в ограничителе потока меньше 0,2 – 0,3 см². Дальнейшее увеличение площади зазора в ограничителе потока не приводит к значительному изменению температуры теплоносителя, омывающего образцы.

Ключевые слова: исследовательский реактор СМ, ампульный канал с естественной циркуляцией, результаты исследований, температурные режимы облучения, мощность энерговыделения.

ВВЕДЕНИЕ

При проведении реакторных испытаний в экспериментальном канале с естественной циркуляцией часто наблюдается отклонение температуры теплоносителя (и образцов) от расчетных значений. Это может быть обусловлено

- неточностями в определении распределения энерговыделения;
- неточностями значений теплофизических свойств материалов, заданных в расчетной модели;

© Т.А. Осипова, В.А. Старков, В.А. Узиков, 2017

– технологическими допусками при изготовлении устройств, влияющими на тепло-гидравлические параметры при облучении и т.д.

Кроме того, часто при проведении испытаний образцов требуется менять режим облучения по определенной программе. Поэтому на стадии проектирования экспериментальных устройств необходимо предусматривать технические и конструктивные решения, позволяющие осуществлять регулирование температурного режима облучения непосредственно при проведении эксперимента.

Для решения этой задачи предложена конструкция ампульного двухкорпусного канала с газовым зазором и естественной циркуляцией теплоносителя. Регулирование температурного режима в канале можно осуществлять изменением

- газового зазора между корпусами канала за счет изменения давления или состава газов;
- геометрии циркуляционного контура.

В работе исследуется дополнительный механизм регулирования температуры образцов за счет организации байпасного контура охлаждения над ограничителем потока теплоносителя.

СХЕМА АМПУЛЬНОГО КАНАЛА

Ампульный канал (рис. 1) предназначен для исследования конструкционных материалов в ячейках отражателя реактора СМ-3 [1 – 3] в условиях облучения при температуре $T \sim 300^\circ\text{C}$ и давлении $P \sim 13 - 16$ МПа. При исследованиях в канале выполняются требования по соотношению массы коррозионной среды (воды) к площади поверхности образцов и обеспечивается возможность проводить испытания без существенного изменения состава воды при длительном облучении [4, 5]. Подробное описание конструкции канала приведено в работах [6 – 12].

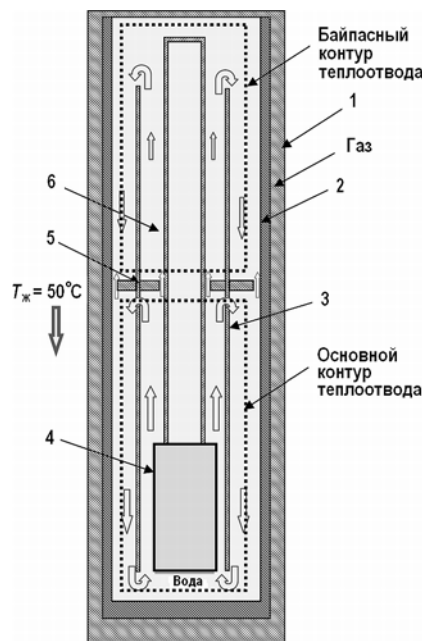


Рис. 1. Схема канала с естественной циркуляцией: 1 – внешний корпус; 2 – внутренний корпус; 3 – разделитель; 4 – имитатор облучаемых образцами; 5 – ограничитель потока; 6 – штанга

Для регулирования температуры теплоносителя в зазоре между внешним и внутренним корпусами канала может находиться гелий, азот или их смесь, что позволяет менять термическое сопротивление газового зазора. Другим способом регулирования темпе-

ратуры является создание байпасного участка тепловода, образующимся над ограничителем потока.

Расчетные исследования влияния вышеперечисленных факторов на температуру теплоносителя в ампульном канале с организацией теплоотвода от образцов с помощью естественной циркуляции проводились с использованием кода RELAP5/MOD3.2 [13, 14].

Применение кода RELAP5/MOD3.2 для моделирования межъячеечной естественной конвекции приведено в работе [15].

РАСЧЕТНАЯ МОДЕЛЬ

Нодализация схема расчетной модели ампульного канала и опускного участка (ОУ) для теплогидравлического анализа в коде RELAP5/MOD3.2 представлена на рис. 2. Для описания процессов теплообмена в расчетной модели используются следующие тепловые структуры:

- держатель пеналов, образцы, пеналы, хвостовик держателя (Hs050);
- нижний танталовый радиационный нагреватель (Hs053);
- верхний танталовый радиационный нагреватель (Hs054);
- разделитель потока (Hs010);
- штанга (Hs052);
- корпус канала (Hs210, Hs220).

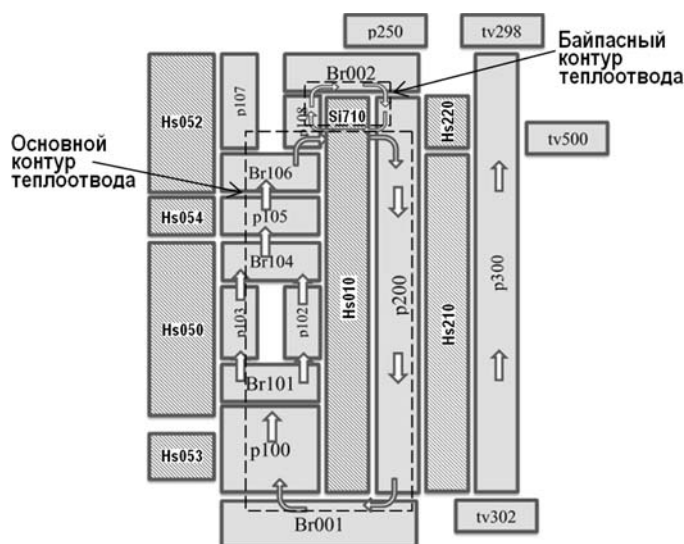


Рис. 2. Нодализация схема ампульного канала и ОУ

К гидродинамическим структурам, описывающим тракт циркуляции теплоносителя, относятся

- подъемный участок контура циркуляции внутри разделителя потока на уровне нижнего нагревателя (p100);
- подъемный участок контура циркуляции внутри разделителя потока на уровне держателя пеналов с образцами, фиктивно разделенный на два потока: центральный, омывающий непосредственно образцы (p103), и периферийный, омывающий пеналы с образцами по внешнему периметру (p102);
- подъемный участок контура циркуляции внутри разделителя потока на уровне верхнего нагревателя (p105);
- участок, моделирующий теплоноситель внутри штанги (p107);
- участок, моделирующий теплоноситель между штангой и разделителем потока (p108);

- кольцевой опускной участок контура циркуляции между разделителем потока и внутренним корпусом (p200);
- компенсатор объема ампульного канала (p250);
- внешний поток, омывающий канал (p300);
- граничные условия внешнего охлаждения канала (tv298, tv302, tv500).

Расход теплоносителя при естественной циркуляции внутри канала определяется в ходе нестационарного расчета разогрева теплоносителя под действием тепловыделения в тепловых структурах, находящихся на уровне активной зоны (± 300 мм), а также с учетом перетока тепла через разделитель потока и тепловых потерь через полый корпус канала.

После выхода на мощность общая мощность энерговыделения в конструкционных материалах канала, элементах ОУ и в воде составляет ~ 19 кВт.

Для поддержания заданного давления в ампульном канале в ходе разогрева теплоносителя смоделирован компенсатор объема. Гидравлические параметры проходных сечений подъемного и опускного участков заданы в соответствии с исходной конструкцией элементов ампульного канала и ОУ.

Вследствие невозможности моделирования в RELAP тепловых структур сложной геометрии держатель пеналов, пеналы и образцы были заменены эквивалентной цилиндрической структурой с сохранением площади теплоотдающей поверхности. Аналогичным образом были смоделированы тепловые структуры верхнего и нижнего нагревательных блоков.

Тепловые структуры штанги, разделителя потока, корпуса канала описаны стандартным образом с использованием цилиндрической геометрии. При этом тепловые структуры штанги и разделителя потока являются однослойными, а корпуса канала – трехслойной.

С учетом радиационного теплообмена через газовый зазор корпуса канала [16] использовалась эквивалентная модель с эффективной теплопроводностью газового слоя и поправкой на излучение [17 – 19].

Для тестирования описанной в работе методики было проведено сравнение расчета с результатами методического эксперимента по облучению образцов жаропрочных сталей. Результаты тестирования показали удовлетворительное согласие и были опубликованы в работе [6]. Расхождение расчетных и экспериментальных значений температур на уровне образцов не превосходит 3%.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для анализа влияния байпасного участка теплоотвода, который образуется над ограничителем потока, на температурный режим в ампульном канале проведена серия расчетов при неизменных начальных условиях, геометрии канала и теплопроводности газового слоя в корпусе. В качестве изменяющегося параметра выбран расход, протекающий через байпасную линию. Изменение расхода байпаса осуществляется за счет изменения площади проходного сечения отверстия в ограничителе потока. Газовой средой корпуса канала служили гелий и смесь гелия с азотом [20].

Расчетные исследования проводились для следующих исходных данных:

- материалы разделителя, корпуса канала, ОУ с образцами – сталь 12X18H10T;
- условия теплоотвода от ампульного канала:
 - температура и давление теплоносителя первого контура – 50°C и 5 МПа соответственно;
 - расход нисходящего потока в центральной обечайке реактора – $1400\text{ м}^3/\text{ч}$;
 - скорость циркуляции восходящего потока на уровне активной зоны в кольцевом канале с шириной зазора 1 мм – $1,5$ м/с.

В результате проведенного в коде RELAP5/Mod3.2 расчета естественной цирку-

ляции при организации теплоотвода от ОУ в ампульном канале получены зависимости мощности основного контура циркуляции ($Q_{осн}$) и мощности байпасного участка ($Q_{байп}$) от площади зазора в ограничителе потока при неизменной общей мощности ($Q_{общ}$) (рис. 3), при этом $Q_{общ}$ – мощность, выделяемая в элементах конструкции канала, ОУ и воде; $Q_{осн}$ – мощность, отводимая через корпус в нижней части канала до ограничителя потока; $Q_{байп}$ – мощность, отводимая через байпасный контур.

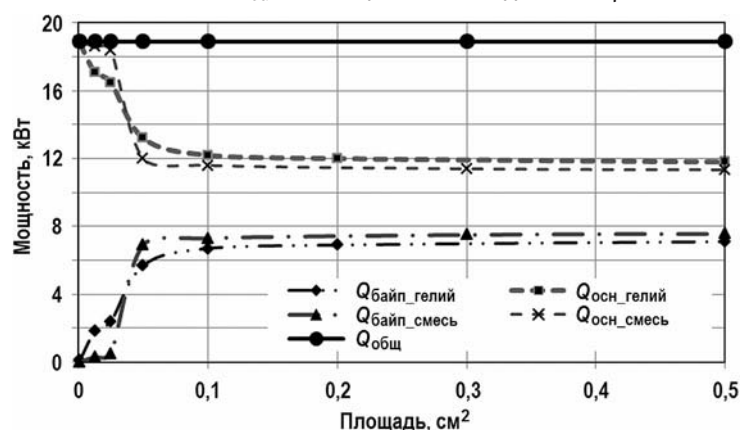


Рис. 3. Зависимость общей мощности ($Q_{общ}$), мощности основного контура циркуляции ($Q_{осн}$) и мощности байпаса ($Q_{байп}$) от площади зазора в ограничителе потока

При значениях площади зазора в ограничителе потока до 0,1 см² мощность, отводимая основным контуром циркуляции, снижается до 60%, при этом мощность, отводимая на байпасном участке, увеличивается соответственно на 40%. При значениях площади зазора меньше 0,03 см² и использовании смеси гелия и азота (теплопроводность которой примерно в два раза ниже теплопроводности гелия) происходит вскипание теплоносителя по всей длине на уровне обоймы с образцами. При заполнении газового зазора корпуса канала гелием и значениях площади зазора в ограничителе потока менее 0,01 см² температура на образцах также достигает температуры кипения при данном давлении. На рисунке 4 представлена зависимость температуры на входном и выходном участках образцов от площади проходного сечения в ограничителе потока.

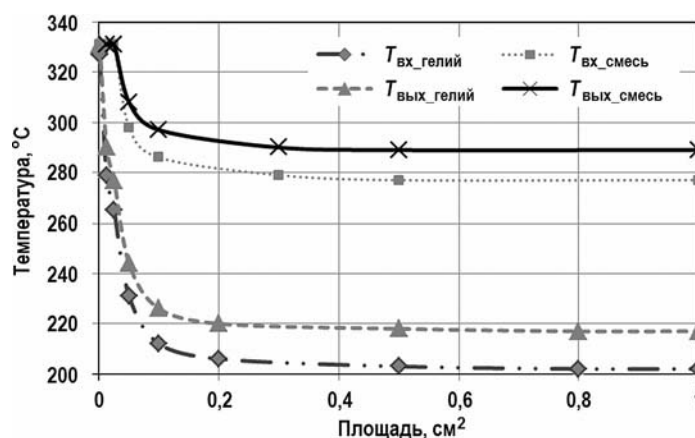


Рис. 4. Зависимость входной и выходной температур участка с образцами от площади проходного сечения в ограничителе потока

При использовании гелия в корпусе канала регулирование температурного режима облучения осуществляется в более широком диапазоне (200 – 330°C), чем при использовании смеси газов (279 – 330°C). Основное изменение температуры происходит при

площади зазора в ограничителе потока меньше $0,2 - 0,3 \text{ см}^2$. Дальнейшее увеличение площади зазора в ограничителе потока не приводит к значительному изменению температуры. Это связано с тем, что температурный режим облучения образцов напрямую зависит от скоростей и соответственно расхода омывающего образцы теплоносителя. При естественной циркуляции расход теплоносителя определяется из равенства движущего напора и гидравлического сопротивления контура. При площадях зазора в ограничителе потока меньше $0,2 - 0,3 \text{ см}^2$ основной вклад в гидравлическое сопротивление контура вносит местное сопротивление отверстий, что оказывает влияние на расход и температуру. При больших площадях зазора вклад местных сопротивлений отверстий в общее гидравлическое сопротивление контура становится незначительным и не оказывает влияния на расход естественной циркуляции.

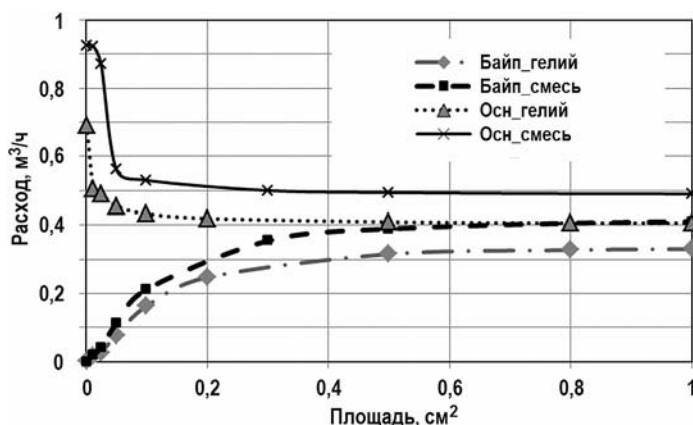


Рис. 5. Зависимость байпасного и основного расходов от площади зазора в ограничителе потока

На рисунке 5 приведены зависимости основного расхода и расхода байпаса от площади зазора в ограничителе потока.

При значениях площади зазора в ограничителе потока до $0,5 \text{ см}^2$ расход через байпасную линию возрастает для обоих типов газа в корпусе канала и достигает постоянного значения. При этом для смеси газов через байпасную линию обеспечивается расход больше, чем для гелия. Это связано с тем, что теплопроводность гелия выше теплопроводности смеси газов, что обуславливает преимущественный теплоотвод на основной линии.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Расчетным путем показано, что предлагаемая схема циркуляции теплоносителя в ампульном канале позволяет значительно расширить возможности по регулированию температурного режима на образцах при облучении по сравнению с традиционным регулированием только теплопроводностью зазора корпуса АК за счет отвода мощности байпасной линией в верхней части канала путем изменения площади зазора в ограничителе потока теплоносителя, доля которой может достигать 40% от общей мощности, выделяемой в конструкционных материалах. При использовании гелия в зазоре корпуса канала, изменяя площадь зазора ограничителя потока до $0,5 \text{ см}^2$, можно добиться изменения температуры на образцах в диапазоне $200 - 330^\circ\text{C}$.

Литература

1. Звир А.И., Святкин М.Н., Петелин А.Л. Опыт эксплуатации высокотемпературного исследовательского реактора СМ / Материалы XI Ежегодного российского совещания «Безопасность исследовательских ядерных установок». – Димитровград: ГНЦ НИИАР, 2009. – С. 38-

44.

2. *Arkhangelsky N. and Izhutov A.* Capabilities and Capacities of RIAR Research Reactors. Presentation at IAEA, Vienna, Austria (2013).

3. *Bychkov A.* RIAR Capabilities and Support of Research and Development of Generation IV Innovative Reactors. Presentation at Joint ICTP/IAEA School on Physics and Technology of Fast Reactors Systems, Italy (2009).

4. *Самсонов Б. В., Цыканов В. А.* Реакторные методы материаловедения. М.: Энергоатомиздат, 1991. – 248 с.

5. *Цыканов В. А., Самсонов Б. В.* Техника облучения материалов в реакторах с высоким нейтронным потоком. М.: Атомиздат, 1973. – 264 с.

6. *Осипова Т. А., Узигов В. А., Палачев П. С., Макин Р. С.* Обоснование возможности использования ампульного канала с естественной циркуляцией для внутриреакторных испытаний. // ВАНТ. Серия: Физика ядерных реакторов. – 2015. – Т. 5. – С. 72-77.

7. *Осипова Т. А., Валишин М. Ф., Узигов В. А., Палачев П. С.* Исследование достижимых температурных режимов в ампульном канале с естественной циркуляцией. // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2015. – №4. – С. 72-79.

8. *Осипова Т. А.* Применение ампульного канала с естественной циркуляцией для внутриреакторных испытаний. / XVIII Международная телекоммуникационная конференция молодых ученых и студентов «Молодежь и наука». – Москва, 2014. Электронный ресурс: <http://mn.mephi.ru/articles/1110> (дата обращения 01.08.2015).

9. *Узигов В. А., Осипова Т. А.* Методика инженерных расчетов параметров ампульного канала с естественной циркуляцией. / В кн. «Инновации в атомной энергетике»: сб. докладов конференции молодых специалистов (25 – 26 ноября 2015 г., Москва). – М.: Изд-во АО «НИКИЭТ», 2015. – С. 323-333.

10. *Осипова Т. А.* Экспериментальные реакторные устройства для облучения конструкционных материалов водо-водяных реакторов. / XIX Международная телекоммуникационная конференция молодых ученых и студентов «Молодежь и наука», Москва, 2015 г. Электронный ресурс: <http://mn.mephi.ru/articles/1335> (дата обращения 11.11.2016)

11. *Осипова Т. А., Узигов В. А.* Инженерная методика оптимизации параметров ампульного канала с естественной циркуляцией. / Всероссийская молодежная конференция «Научные исследования и технологические разработки в обеспечение развития ядерных технологий нового поколения», Дмитровград, 5 – 7 апреля 2016 г. Тезисы докладов. – Дмитровград: АО «ГНЦ НИИАР», 2016. – С. 48-51.

12. *Середкин С. В. и др.* Разработка методики исследования коррозионного растрескивания под напряжением сплава INCONEL 718 при облучении в реакторе СМ. / Отчет об основных исследовательских работах, выполненных в 2013 г. – Дмитровград: ОАО «ГНЦ НИИАР», 2014. – 31 с.

13. *Fletcher C. D., Schultz R. R.* RELAP5/MOD3 Code Manual. User's Guidelines. NUREG/CR-5535, INEL-95/0174. – June 1995. – Vol. 5. – Rev. 1.

14. RELAP5/MOD3. Vol. 1 – 7. Code Manual. NUREG/CR-5535 INEL-95/0174, 1995.

15. *Гатауллина Г. Д., Узигов В. А., Осипова Т. А.* Роль межъячеечной естественной циркуляции в реакторах бассейнового типа. // Атомная энергия. – 2012. – Т. 113. – Вып. 4. – С. 205-209.

16. *Осипова Т. А., Узигов В. А., Макин Р. С.* Различные подходы к моделированию теплопередачи излучением в газовом зазоре в коде RELAP5/MOD3.2 // Известия Самарского научного центра РАН. – 2014. – Т. 15. – Вып. 6. – С. 147-150.

17. *Михеев М. А., Михеева И. М.* Основы теплопередачи. Изд. 2-е, стереотип. – М.: Энергия, 1977. – 344 с.

18. *Кутателадзе С. С.* Теплопередача и гидродинамическое сопротивление: Справочное пособие. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 367 с.

19. *Кириллов П. Л., Юрьев Ю. С., Бобков В. П.* Справочник по теплогидравлическим расчетам (Ядерные реакторы, теплообменники, парогенераторы). – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 360 с.

20. *Чиркин В.С.* Теплофизические свойства материалов ядерной техники: Справочник. – М.: Атомиздат, 1968. – 485 с.

Поступила в редакцию 01.12.2016 г.

Авторы

Осипова Татьяна Андреевна, научный сотрудник
E-mail: tosipova89@gmail.com

Старков Владимир Александрович, начальник управления
E-mail: starva@sai-net.ru

Узиков Виталий Алексеевич, ведущий инженер-технолог
E-mail: Uzikov62@mail.ru

UDC 621. 039.5

**REGULATION OF THE TEMPERATURE IN THE AMPOULE CHANNEL
WITH NATURAL CIRCULATION OF COOLANT**

Osipova T.A., Starkov V.A., Uzikov V.A.

JSC «SSC RIAR»

Dimitrovgrad-10, Ulyanovsk reg., 433510 Russia

ABSTRACT

It is shown by calculations that for the proposed hydraulic circuit, it is possible to expand significantly the possibilities of the temperature regime regulation of the samples in the ampoule channel with coolant natural circulation. The proposed hydraulic circuit consists in changing the geometry of the circulation loop by creating a bypass section for the heat removal that is formed in the upper part above the flow restrictor, that improves the regulation of the temperature conditions compared to regulation only by changing the heat conductivity of the gas gap of the channel body (pressure or gas composition). The ampoule channel is irradiated in the reflector cell of the reactor SM-3. The test conditions, the scheme and thermal-hydraulic model of ampoule channel for the code RELAP5/MOD3.2 are presented. The influence of the bypass cooling circuit on the temperature conditions while samples irradiation in the ampoule channel has been studied in this work. The bypass flow rate is changed by varying the size of the flow area of the hole in the flow limiter. The variants of filling the gas gap of the channel housing with helium and a mixture of helium and nitrogen are considered. The calculation showed that the power removed by bypass line can be up to 40% of the total heat capacity of the channel. When using helium as a gas in the channel gap, regulation of the samples temperature is carried out in a wider range (200 – 330°C) than when using a gas mixture with a lower thermal conductivity (279 – 330°C). The main change in temperature occurs when the gap area in the flow limiter is less than (0.2-0.3) cm². Further increase of the gap area in the flow limiter does not lead to a significant change in the coolant temperature around the samples.

Key words: research reactor SM, ampoule channel with natural circulation, research results, temperature regimes of irradiation, power of energy release.

REFERENCES

1. Zvir A.I., Sviatkin M.N., Petelin A.L. *Опыт эксплуатации высокотоchnого исследовател'sкого реактора SM.* [The trial of exploitation of the high flux research reactor SM]. *Materialy XI ezhegodnogo Rossijskogo soveschaniya «Bezopasnost' issledovatel'skih yadernyh*

- ustanovok*» [Materials of the XIth annual Russian counsel «The safety of research nuclear facilities»]. Dimitrovgrad, 2009, pp. 38-44 (in Russian).
2. Arkhangel'sky N., Izhutov A. Capabilities and Capacities of RIAR Research Reactors. Presentation at IAEA, Vienna, Austria (2013).
 3. Bychkov A. RIAR Capabilities and Support of Research and Development of Generation IV Innovative Reactors. Presentation at Joint ICTP/IAEA School on Physics and Technology of Fast Reactors Systems, Italy (2009).
 4. Samsonov B.V., Tsykanov V.A. *Reaktornye metody materialovedeniya*. [Reactor Materials methods]. Moscow. Energoatomizdat Publ., 1991. 248 p. (in Russian).
 5. Tsykanov V.A., Samsonov B.V. *Tekhnika oblucheniya materialov v reaktorakh s vysokim neytronnym potokom*. [Materials irradiation technique in reactors with a high neutron flux]. Moscow. Atomizdat Publ., 1973. 264 p. (in Russian).
 6. Osipova T.A., Uzikov V.A., Palachov P.S., Makin R.S. *Obosnovanie vozmozhnosti ispolzovaniya ampul'nogo kanala s estestvennoj cirkulyaciej dlya vnutrireaktornykh ispytaniy*. [Justification of the possibility of using the ampule channel with natural circulation for in-pile tests]. *VANT. Ser. Fizika yadernykh reaktorov*. 2015, iss. 5, pp. 72-77 (in Russian).
 7. Osipova T.A., Valishin M.F., Uzikov V.A., Palachyov P.S. *Issledovanie dostizhimykh temperaturnykh rezhimov v ampul'nom kanale s estestvennoj cirkulyaciej*. [The research of the achievable temperature modes in the ampoule channel with a natural circulation]. *Izvestiya vuzov. Yadernaya energetika*. 2015, no. 4, pp. 72-78 (in Russian).
 8. Osipova T.A. *Primeneniye ampul'nogo kanala s yestestvennoy tsirkulyatsiyey dlya vnutrireaktornykh ispytaniy*. [The application of an ampoule channel with natural circulation for in-core testing]. XVIII *Mezhdunarodnaya telekommunikatsionnaya konferentsiya molodykh uchenykh i studentov «Molodezh' i nauka»*. [XVIIIth International Telecommunication Conference of Young Scientists and Students «Youth and Science»]. Moscow, 2014. Available at: <http://mn.mephi.ru/articles/1110> (accessed 1 Aug 2015) (in Russian).
 9. Uzikov V.A., Osipova T.A. *Metodika inzhenernykh raschyotov parametrov ampul'nogo kanala s yestestvennoy tsirkulyatsiyey*. [Technique of engineering calculations of parameters of ampoule channel with natural circulation]. *Innovatsii v atomnoy energetike: sb. dokladov konferentsii molodykh spetsialistov*. [Innovations in Nuclear Power Engineering: Sat. Reports of the Conference of Young Specialists]. Moscow. JSC «NIKIET» Publ., 2015, pp. 323-333 (in Russian).
 10. Osipova T.A. *Eksperimental'nyye reaktornyye ustroystva dlya oblucheniya konstruktsionnykh materialov vodo-vodyanykh reaktorov*. [Experimental reactor devices for irradiating structural materials of water-cooled reactors]. XIX *Mezhdunarodnaya telekommunikatsionnaya konferentsiya molodykh uchenykh i studentov «Molodezh' i nauka»*. [XIXth International Telecommunication Conference of Young Scientists and Students «Youth and Science»]. Moscow, 2015. Available at: <http://mn.mephi.ru/articles/1335> (accessed 11 Nov 2016) (in Russian).
 11. Osipova T.A., Uzikov V.A. *Inzhenernaya metodika optimizatsii parametrov ampul'nogo kanala s yestestvennoy tsirkulyatsiyey*. [Engineering technique for optimizing the ampoule channel parameters with natural circulation]. *Vserossiyskaya molodezhnaya konferentsiya «Nauchnyye issledovaniya i tekhnologicheskiye razrabotki v obespecheniye razvitiya yadernykh tekhnologiy novogo pokoleniya»*. [Russian Youth Conference «Scientific Research and Technological Development for the Development of Nuclear Technologies of the New Generation»]. Dimitrovgrad. JSC «SSC NIIAR» Publ., 2016, pp. 48-51 (in Russian).
 12. Seredkin S.V., Palachev P.S., Marikhin N.YU., Fedotova D.A., Uzikov V.A., Osipova T.A., Gataullina G.D. *Razrabotka metodiki issledovaniya korrozionnogo rastreskivaniya pod napryazheniem splava INCONEL 718 pri obluchenii v reaktore SM*. [Methodical Study of Stress Corrosion Cracking of Inconel 718 Alloy in the SM-3 Reactor]. Report on the basic research works carried out in 2013 – Dimitrovgrad. JSC «SSC NIIAR» Publ., 2014. 31 p. (in Russian).

13. Fletcher C.D. and Schultz R.R. RELAP5/MOD3 Code Manual, User's Guidelines. NUREG/CR-5535, INEL-95/0174, June 1995, v.5, rev.1.
14. RELAP5/MOD3, v. 1 – 7. Code Manual. NUREG/CR-5535 INEL-95/0174, 1995.
15. Gataullina G. D., Uzikov V. A., Osipova T. A. *Rol' mezh'yachechnoj estestvennoj cirkulyacii v reaktorah bassejnovogo tipa* [The Role of Inter-Cell Natural Circulation in the Pool-Type Reactors]. *Atomnaya energiya*. 2012, v. 113, iss. 4, pp. 205-209 (in Russian).
16. Osipova T.A., Uzikov V.A., Makin R.S. *Razlichnye podhody k modelirovaniyu teploperedachi izlucheniem v gazovom zazore v kode RELAP5/MOD3.2.* [Different approaches to modeling radiation heat transfer in the gas gap using RELAP5/MOD3.2. code]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra RAN*. 2014, v. 15, iss. 6, pp. 147-150 (in Russian).
17. Mikheev M.A., Mikheeva I.M. *Osnovy teploperedachi*. [Fundamentals of heat transfer]. Moscow. Energiya Publ., 1977. 344 p. (in Russian).
18. Kutateladze S.S. *Teploperedacha i gidrodinamicheskoe soprotivlenie: Spravochnoe posobie*. [Heat transfer and hydrodynamic resistance: A reference book]. Moscow. Energoatomizdat Publ., 1990. 367 p. (in Russian).
19. Kirillov P.L., Yriev Y.S., Bobkov V.P. *Spravochnik po teplogidravlicheskim raschetam (Yadernye reaktory, teploobmenniki, parogeneratory)*. [Reference book on thermohydraulic calculations (Nuclear reactors, Heat-exchange Units, Steam-generating Units)]. Moscow. Energoatomizdat Publ., 1990. 360 p. (in Russian).
20. Chirkin V.S. *Teplofizicheskie svoystva materialov yadernoj tekhniki*. [Thermal properties of materials of nuclear technology]. Reference book. Moscow. Atomizdat Publ., 1968 (in Russian).

Authors

Osipova Tatiana Andreevna, Research Scientist

E-mail: tosipova89@gmail.com

Starkov Vladimir Aleksandrovich, Head of Department

E-mail: starva@sai-net.ru

Uzikov Vitaly Alekseevitch, Lead Industrial Engineer

E-mail: Uzikov62@mail.ru