

ИССЛЕДОВАНИЕ ДОСТИЖИМЫХ ТЕМПЕРАТУРНЫХ РЕЖИМОВ В АМПУЛЬНОМ КАНАЛЕ С ЕСТЕСТВЕННОЙ ЦИРКУЛЯЦИЕЙ

Т.А. Осипова*, **, М.Ф. Валишин*, В.А. Узиков*, П.С. Палачёв*

* АО «ГНЦ НИИАР»

433510, Ульяновская обл., г. Димитровград-10

** Димитровградский инженерно-технологический институт НИЯУ «МИФИ»

433510, Ульяновская обл., г. Димитровград, ул. Куйбышева, 294



Представлены результаты расчетного анализа охлаждения тонкостенных образцов при реакторном облучении в двухкорпусном ампульном канале с организацией теплоотвода естественной конвекцией. Выполнение корпуса канала в виде двухкорпусной конструкции позволяет изменять термическое сопротивление стенки канала с регулированием утечки тепла из него составом и давлением газа в полости между корпусами. Целью работы является определение возможных режимов охлаждения образцов в данном канале. Расчетный анализ проводился с использованием теплогидравлического кода RELAP5/MOD3.2. В качестве газа зазора между корпусами в расчетах рассматриваются гелий и азот. Показаны основные закономерности изменения температурных режимов облучения в зависимости от мощности энерговыделения в конструкционных материалах канала и облучательного устройства, высоты контура циркуляции и термического сопротивления корпуса канала. При варьировании высоты контура циркуляции и мощности энерговыделения в конструкционных материалах в ампульном канале обеспечиваются режимы охлаждения образцов в диапазоне от температуры омывающего теплоносителя первого контура до температуры кипения при заданном давлении (50 – 331 °С). Без кипения теплоносителя на образцах при максимальной (8 м) высоте контура циркуляции при использовании гелия в качестве газа полости канала отводится не более ~55 кВт (14 Вт/г на образцах), при использовании азота – не более 15 кВт (3,7 Вт/г на образцах), а при минимальной (1 м) высоте контура циркуляции – не более 10 кВт (2,5 Вт/г на образцах) и 5 кВт (1,2 Вт/г на образцах) соответственно.

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

ВВЕДЕНИЕ

Развитие атомной энергетики связано с дальнейшим расширением и углублением исследований в области реакторного материаловедения. Использование петлевых установок является наиболее простым способом обеспечения необходимых

© Т.А. Осипова, М.Ф. Валишин, В.А. Узиков, П.С. Палачёв, 2015

условий облучения при проведении эксперимента. Однако, в силу высокой загруженности петлевых установок, остро встает вопрос разработки инструмента, с помощью которого возможно обеспечивать требуемые условия реакторного облучения материалов [1]. В рамках решения данной проблемы предложена конструкция ампульного канала с естественной циркуляцией (ЕЦ) теплоносителя. Целью работы является определение возможных режимов охлаждения образцов посредством естественной конвекции в ампульном канале.

В данной работе исследуются основные закономерности режимов охлаждения тонкостенных образцов при облучении в двухкорпусном канале с газовым зазором, устанавливаемом в ячейках отражателя реакторной установки СМ-3[2].

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ РАСЧЕТА

Схема канала с естественной циркуляцией приведена на рис. 1 [3].

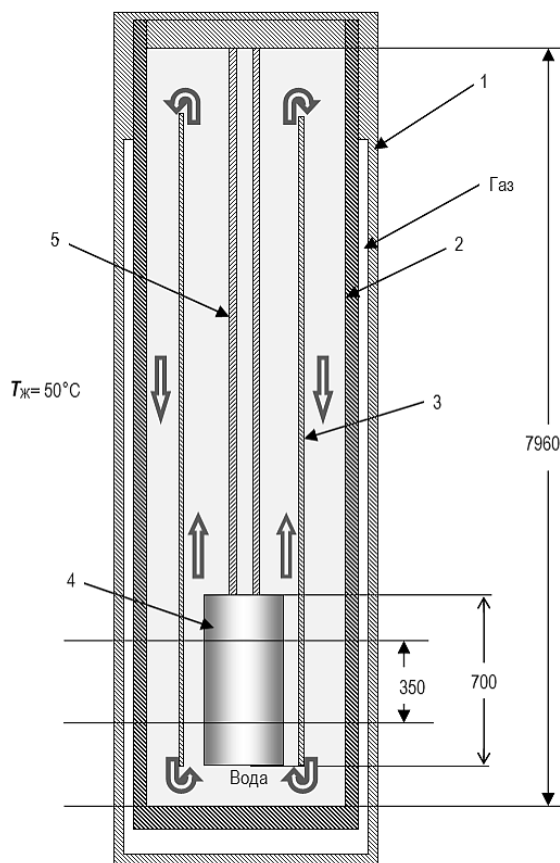


Рис. 1. Схема канала с естественной циркуляцией: 1 – внешний корпус; 2 – внутренний корпус; 3 – разделитель; 4 – имитатор облоймы с образцами; 5 – штанга

Канал состоит из двух герметичных корпусов 1, 2, разделенных между собой газовым зазором толщиной 1,35 мм. Внешний корпус на уровне облоймы с образцами представляет собой трубу 62×3 мм, а внутренний – 53,3×2,65 мм. Внутри канала располагается разделитель потока 3 в виде трубы 38×1 мм.

Облучательное устройство (ОУ) располагается внутри разделителя потока 4, 5. Образцы представляют собой тонкостенные пластины с развитой поверхностью теплосъема.

Регулирование температурных режимов при облучении образцов в ампульном канале с ЕЦ можно осуществлять путем изменения термического сопротивления корпуса канала, подбирая параметры газовой среды [4, 5], а также высоты контура циркуляции за счет установки пробки на пути потока и переливных отверстий в разделителе. Высота контура циркуляции отсчитывается от дна канала и может варьироваться в диапазоне от одного до восьми метров.

Расчетный анализ температурных режимов, которые можно достигнуть в ампульном канале с естественной циркуляцией, проводился в зависимости от следующих параметров:

- общей мощности энерговыделения (в конструкционных материалах канала, ОУ с образцами);
- высоты контура циркуляции;
- термического сопротивления корпуса канала.

Исследование влияния данных параметров на режимы охлаждения образцов проводилось с использованием теплогидравлического кода RELAP5/MOD3.2[6].

Исходные данные для расчета:

- геометрия канала и ОУ;
- материалы разделителя, корпуса канала, ОУ с образцами – сталь 12Х18Н10Т;
- давление теплоносителя в канале – 13 МПа;
- газ межкорпусного пространства – гелий или азот при давлении 0,1 МПа;
- условия теплоотвода от ампульного канала:
 - температура теплоносителя первого контура – 50 °С;
 - давление теплоносителя в первом контуре – 5 МПа;
 - расход нисходящего потока в центральной обечайке реактора – 1400 м³/ч;
 - скорость циркуляции восходящего потока на уровне активной зоны в кольцевом канале с шириной зазора 1 мм – 1,5 м/с.

Распределение энерговыделения в конструкционных материалах канала и ОУ приведено в табл. 1.

Таблица 1

Распределение энерговыделения в элементах конструкции ампульного канала и ОУ

Элемент конструкции	Доля энерговыделения, отн. ед.
Разделитель	0,07
ОУ	0,35
Корпус	0,58

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА

Возможные температурные режимы охлаждения образцов в ампульном канале с естественной циркуляцией теплоносителя во всем диапазоне высот контура циркуляции (от одного до 8 м) представлены на рис. 2. В качестве газа, заполняющего полость корпуса канала, принят гелий при давлении 0,1 МПа [7].

На рисунке по оси абсцисс отложены средние температуры теплоносителя на уровне образцов, по оси ординат – общая мощность, выделяемая в корпусе ампульного канала, разделителе потока и ОУ с образцами. Одному киловатту, выделяемому в ОУ, соответствует удельное энерговыделение, равное 0,7 Вт/г.

При варьировании высоты контура циркуляции и мощности энерговыделения в ампульном канале обеспечиваются режимы охлаждения образцов в диапазоне от температуры омывающего теплоносителя первого контура до температуры

кипения [8] при заданном давлении (50 – 331 °С).

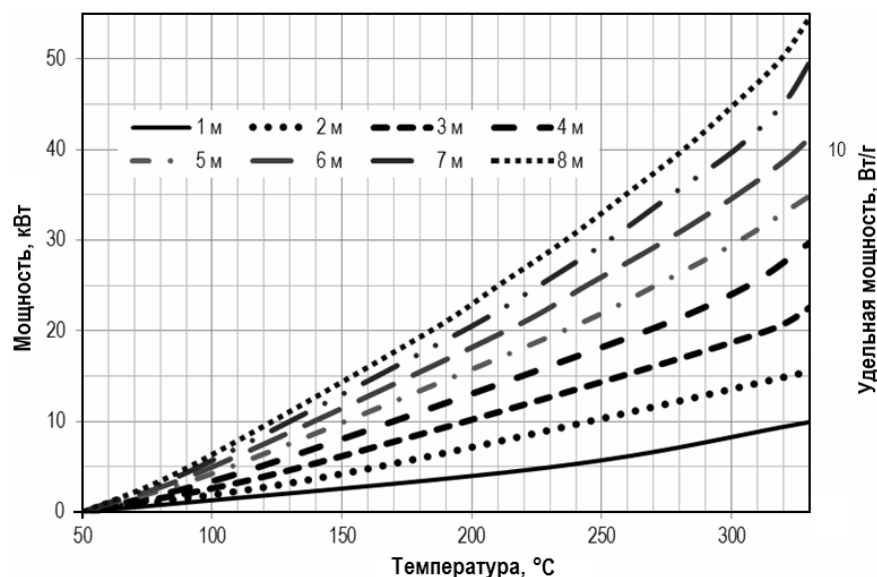


Рис. 2. Температурные режимы охлаждения образцов в ампульном канале с естественной циркуляцией во всем диапазоне высот циркуляционного контура

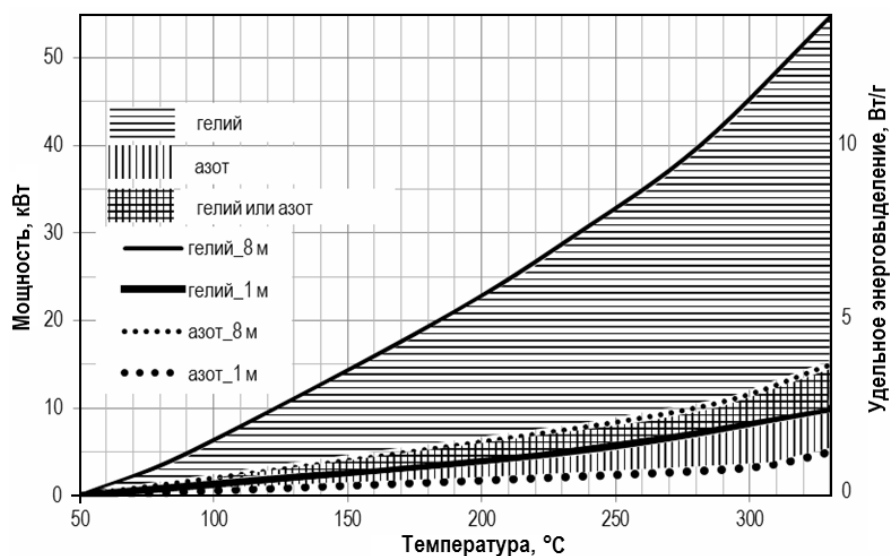


Рис. 3. Температурные режимы в ампульном канале с естественной циркуляцией

Увеличение высоты контура циркуляции приводит к снижению температуры на образцах вследствие увеличения поверхности теплообмена с теплоносителем первого контура.

При наибольшей высоте контура циркуляции нижняя граница общей мощности, при которой достигается кипение на образцах, составляет ~55 кВт, что соответствует ~20 кВт (14 Вт/г), выделяемым в ОУ с образцами. При минимальной высоте контура циркуляции можно отвести общую мощность не более 10 кВт (3,5 кВт (2,5 Вт/г) на образцах) без кипения теплоносителя.

На рисунке 2 область рабочих режимов ампульного канала снизу ограничивает-

ся кривой, соответствующей минимальной высоте контура циркуляции, а сверху – кривой, соответствующей максимальной высоте контура циркуляции.

Для оценки влияния термического сопротивления корпуса канала на условия охлаждения образцов проведены дополнительные расчеты, в которых в качестве газовой среды межкорпусного пространства задан азот при давлении 0,1 МПа (рис. 3). Вследствие малой теплопроводности азота максимальная общая мощность, при которой отсутствует кипение на образцах, составляет около 15 кВт, в то время как при заданном в качестве заполнителя межкорпусного пространства гелии, имеющем высокую теплопроводность, – примерно 55 кВт.

Использование азота позволяет достичь высоких температур при малых значениях энерговыделения на образцах (до 3,5 кВт).

На рисунке 3 видно, что существует область рабочих режимов облучения образцов, которые можно получить при использовании как гелия, так и азота в качестве газовой среды канала.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе расчетным путем показано, что в ампульном канале с естественной циркуляцией теплоносителя обеспечиваются температурные режимы охлаждения образцов в широком диапазоне температур (50 – 331 °С), что позволяет проводить облучение образцов при моделировании параметров водяных энергетических реакторов. Без кипения теплоносителя на образцах при максимальной высоте контура циркуляции при использовании гелия в качестве газа полости канала отводится не более ~55 кВт (14Вт/г на образцах), а при использовании азота – не более 15 кВт (3,7 Вт/г на образцах), а при минимальной высоте контура циркуляции – не более 10 кВт (2,5 Вт/г на образцах) и 5 кВт (1,2 Вт/г на образцах) соответственно.

Литература

1. *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. – Димитровград: ОАО «ГНЦ НИИАР», 2014. – С. 31.
2. *Звир А.И., Святкин М.Н., Петелин А.Л.* Опыт эксплуатации высокопоточного исследовательского реактора СМ / Материалы XI Российского совещания «Безопасность исследований ядерных установок» Сб. докл. – Димитровград: ГНЦ НИИАР, 2009. – С. 38 - 44.
3. *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 г.
Доступно на сайте <http://mn.mephi.ru/articles/1110> (дата обращения 01.08.2015г.)
4. *Самсонов Б.В., Цыканов В.А.* Реакторные методы материаловедения. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – С. 64-71.
5. *Цыканов В.А., Самсонов Б.В.* Техника облучения материалов в реакторах с высоким нейтронным потоком. – М.: Атомиздат, 1973. – С. 204-220.
6. RELAP5/MOD3, Volume 1-7. Code manual. NUREG/CR-5535 INEL-95/0174, 1995.
7. *Физические величины: Справочник* / Под. ред. И.С. Григорьева, Е.З. Мейлихова. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 1232 с.
8. *Кириллов П.Л., Юрьев Ю.С., Бобков В.П.* Справочник по теплогидравлическим расчетам «Ядерные реакторы, теплообменники, парогенераторы». – М.: Энергоатомиздат. 1990. – 360 с.

Поступила в редакцию 27.08.2015 г.

Авторы

Осипова Татьяна Андреевна, младший научный сотрудник, аспирант

E-mail: tosipova89@gmail.com

Валишин Марат Фаритович, младший научный сотрудник

E-mail: marat2008@mail.ru

Узиков Виталий Алексеевич, ведущий инженер-технолог

E-mail: Uzikov62@mail.ru

Палачёв Павел Сергеевич, научный сотрудник

E-mail: spthlw3@gmail.com

UDC 621. 039.5

THE RESEARCH OF FEASIBLE TEMPERATURE MODES IN THE AMPOULE CHANNEL WITH NATURAL CIRCULATION

Osipova T.A.*,**, Valishin M.F.*, Uzikov V.A.*, Palachyov P.S.*

* JSC «SSC RIAR»

Dimitrovgrad-10, Ul'yanovsk Reg., 433510 Russia

**Dimitrovgrad engineering technological institute NRNU «MEPhI»

294 Kujbysheva st., Dimitrovgrad, Ul'yanovsk Reg., 433510 Russia

ABSTRACT

The current research work provides the results of the calculation analysis of the thin-walled samples cooling during reactor irradiation in a double-hulled ampoule channel with a natural convection supply of the heatsink. Making the ampoule channel in the form of a double-hulled construction enables changing thermal resistance of the channel wall thus regulating heat leak out of it by gas composition and pressure in the cavity between the hulls. The aim of the research is to identify possible regimes of sample cooling in the present channel. The calculation analysis was carried out using the thermal-hydraulic code RELAP5/MOD3.2. In the calculations helium and nitrogen are seen as a gas gap between the hulls. There is a demonstration of the main regularities of changing irradiation temperature regimes in relation to the capacity of energy release in the channel construction materials and the irradiation device, the height of the circulation loop and thermal resistance of the channel hull. Varying the height of the circulation loop and the capacity of energy release in the construction materials enables cooling sample regimes in the range from the temperature of the first contour coolant to boiling temperature at a given pressure (50 – 331°C). Without boiling of coolant on the samples at the maximum (8 m) height of the circulation loop at most 55 kW (14 W/g on the samples) is allocated using helium as a channel cavity gas, exploiting nitrogen – 15 kW (3,7 W/g on the samples); at a minimum (1 m) height of the circulation loop no more than 10 kW (2,5 W/g on the samples) and 5 kW (1,2 W/g on the samples), correspondingly.

Key words: research reactor SM, ampoule channel with natural circulation, research results, temperature modes of irradiation.

REFERENCES

1. Serjodkin S.V., Palachyov P.S., Marihin N.Ju., Fedotova D.A., Uzikov V.A., Osipova T.A., Gataullina G.D. Razrabotka metodiki issledovaniya korrozionnogo rastreskivaniya pod napryazheniem splava INCONEL 718 prio bluchenii v reaktore SM [Methodical Study of

Stress Corrosion Cracking of Inconel 718 Alloy in the SM-3 reactor]. Report on the basic research work carried out in 2013. Dimitrovgrad. JSC « SSC RIAR » Publ. 2014, p. 31 (in Russian).

2. Zvir A.I., Sviatkin M.N., Petelin A.L. Opyt ekspluatatsii vysokopotochnogo issledovatel'skogo reaktora SM [The trial of exploitation of the high flux research reactor SM]. *Materialy 11-go ezhegodnogo rossijskogo soveshhanija «Bezopasnost' issledovatel'skih yadernyh ustanovok»* [Materials of the eleventh annual Russian counsel «The safety of research nuclear facilities»]. Dimitrovgrad, 2009, pp. 38-44 (in Russian).

3. Osipova T.A. Primenenie ampul'nogo kanala s estestvennoj cirkulyaciej dlya vnutrireaktornyh ispytaniy [The application of an ampoule channel with natural circulation for in-core testing]. *18-ya Mezhdunarodnaya telekommunikacionnaya konferenciya molodyh uchyonyh i studentov «Molodezh' i nauka»* [18th World telecommunication conference of young researchers and students «Youth and science»]. Moscow, 2014.

Available at: <http://mn.mephi.ru/articles/1110/> (accessed 1 Aug 2015) (in Russian).

4. Samsonov B.V. Tsykanov V.A. *Reaktornye metody materialovedeniya* [Reactor Materials Methods]. Moscow, Energoatomizdat Publ. 1991, pp.64-71 (in Russian).

5. Tsykanov V.A. Samsonov B.V. *Tekhnika oblucheniya materialov v reaktorah s vysokim nejtronnym potokom* [Technique irradiation materials in reactors with a high neutron flux]. Moscow, Atomizdat Publ. 1973, pp. 204-220 (in Russian).

6. RELAP5/MOD3, Volume 1-7. Codemanual. NUREG/CR-5535 INEL-95/0174, 1995.

7. Babichev A.P., Babushkina N.A., Bratkovskij A.M., Brodov M.E., Bystrov M.V., Vinogradov B.V., Vinokurova L.I., Gel'man Je.B., Geppe A.P., Grigor'ev I.S., Gurtovoj K.G., Egorov V.S., Eleckij A.V., Zarembo L.K., Ivanov V.Ju., Ivashinceva V.L., Ignat'ev V.V., Imamov R.M., Injushkin A.V., Kadobnova N.V., Karasik I.I., Kikoin K.A., Krivoruchko V.A., Kulakov V.M., Lazarev S.D., Livshic T.M., Ljubarskij Ju.Je., Marin S.V., Maslov I.A., Mejlihov E.Z., Migachev A.I., Mironov S.A., Musatov A.L., Nikitin Ju.P., Novickij L.A., Obuhov A.I., Ozhogin V.I., Pisarev R.V., Pisarevskij Ju.V., Ptuskin V.S., Radcig A.A., Rudakov V.P., Summ B.D., Sjunjaev R.A., Hlopkin M.N., Hljustkov I.N., Cherepanov V.M., Chertov A.G., Shapiro V.G., Shustrjakov V.M., Jakimov V.M., Janovskij V.P. *Fizicheskie velichiny: Spravochnik* [Physical quantities: Reference book]. Moscow, Energoatomizdat Publ. 1991, 1232 p. (in Russian).

8. Kirillov P.L., Yuriev.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).

Authors

Osipova Tatiana Andreevna, Junior Research Scientist, PhD Student

E-mail: tosipova89@gmail.com

Valishin Marat Faritovitch, Junior Research Scientist

E-mail: marat2008@mail.ru

Uzikov Vitalij Alekseevitch, Lead Industrial Engineer

E-mail: Uzikov62@mail.ru

Palachyov Pavel Sergeevich, Research Scientist

E-mail: sphlw3@gmail.com