

УДК 621.039.5

РАСЧЕТ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ ВОТК-НОУ РЕАКТОРА ИВГ.1М ПО ОПТИМИЗИРОВАННОЙ И УСОВЕРШЕНСТВОВАННОЙ МОДЕЛЯМ

Хажидинов А.С., Акаев А.С., Гановичев Д.А.

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

E-mail: khazhidinov@nnc.kz

Объектом исследования является водоохлаждаемый технологический канал с топливом низкого обогащения (ВОТК-НОУ №24) реактора ИВГ.1М. В расчетной программе Ansys Fluent разработана пористая двухмерная осесимметричная модель ВОТК реактора ИВГ.1М, оптимизирована имеющаяся рабочая модель тепловыделяющей сборки (ТВС), которая упрощена до сегмента одного тепловыделяющего элемента (ТВЭЛА). Осуществлена проверка расчетных моделей путем сравнения результатов стационарного расчета с экспериментальными данными пуска П17-08. Разработанные модели позволяют проводить теплофизические расчеты аварийных ситуаций по обоснованию безопасности.

Ключевые слова: реактор ИВГ.1М, тепловыделяющая сборка, стационарный тепловой расчет реактора ИВГ.1М, пористая модель, оптимизированная модель ТВЭЛА.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящий момент реактор ИВГ.1М проходит конверсию на низкообогащенное топливо и для исследовательского реактора с обновленным топливом требуется провести анализ безопасности. Отчет по анализу безопасности содержит условия и результаты расчетов, описывающие состояние реактора во время штатной работы и аварийных ситуаций. В связи с этим актуальным является разработка моделей, наиболее приближенных к реальным физическим условиям, позволяющих сократить расчетное время.

В программе Ansys Fluent оптимизирована рабочая трехмерная модель ТВС, которая упрощена до сегмента одного ТВЭЛА. Такую модель можно использовать в нестационарных расчетах, связанных с падением расхода воды. Оптимизированная модель не позволяет учесть теплопередачу через стенку канала к охлаждающей жидкости и поэтому получаются сильно консервативные результаты.

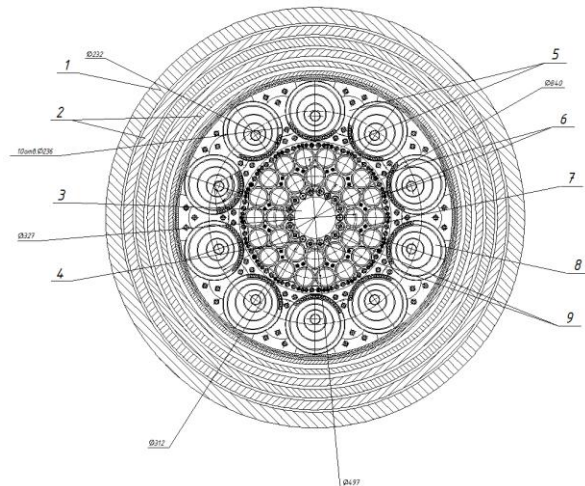
Для уменьшения консерватизма расчетов в программе Ansys Fluent разработана двухмерная осесимметричная модель ВОТК с пористой зоной, заменяющая ТВС. Пористая модель ВОТК позволяет учесть сток тепла в воду межканального пространства, также отвод тепла через необогреваемую часть канала ниже ТВС. С помощью этой модели можно решить следующие задачи: разгерметизация канала ниже ТВС, снижение расхода теплоносителя. Для использования пористой модели ВОТК в задачах с кипением необходима ее доработка и проведение расчетных исследований.

Результаты стационарного расчета на разработанных моделях хорошо согласуются с экспериментальными данными пуска П17-08.

1 КОНСТРУКЦИЯ РЕАКТОРА ИВГ.1М

Активная зона реактора ИВГ.1М содержит 30 ВОТК-НОУ, в которых ТВЭЛы расположены по треугольной решетке, как показано на рисунках 1 и 2 [1–

3]. В центральной ячейке реактора расположен окруженный бериллиевым вытеснителем петлевой канал, в который возможна установка экспериментального устройства.



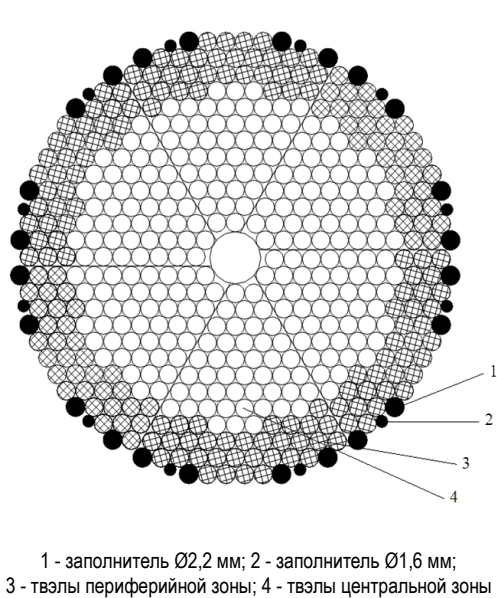
1 - корпус; 2 - боковые экраны; 3 - петлевой канал; 4 - центральный вытеснитель; 5 - отражатель; 6 - ВОТК; 7 - источник нейтронов; 8 - регулирующие барабаны; 9 - стержни компенсации реактивности

Рисунок 1. Схема поперечного среза реактора ИВГ.1М

2 ОПТИМИЗИРОВАННАЯ МОДЕЛЬ ТВЭЛА

В работах [4, 5] по определению теплофизических параметров активной зоны реактора ИВГ.1М использовалась призматическая модель с тремя ТВЭЛАми, которые представлены в виде эквивалентных стержней высотой 800 мм, как показано на рисунке 3 (а).

Оптимизация модели с тремя ТВЭЛАми заключается в разбиении на три равные части по биссектрисам, как показано на рисунке 3 (б). Такая модель содержит в три раза меньше элементов и узлов, которые показаны на рисунке 3 (в), что сокращает расчетное время.

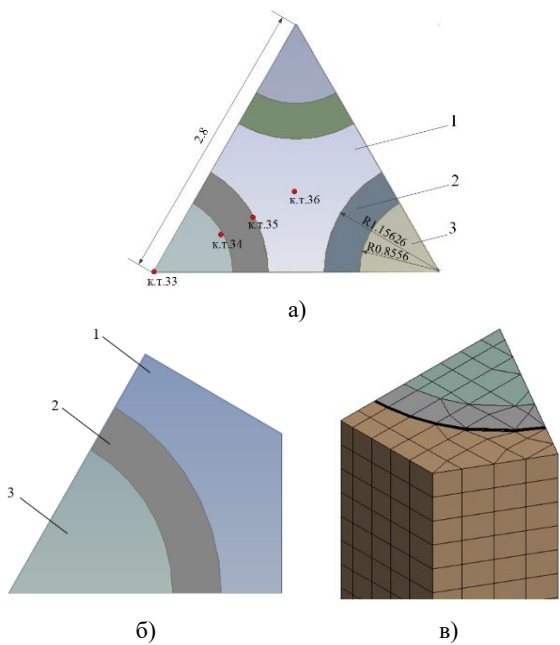


1 - заполнитель Ø2,2 мм; 2 - заполнитель Ø1,6 мм;
3 - твэлы периферийной зоны; 4 - твэлы центральной зоны

Рисунок 2. Расположение твэлов в поперечном сечении ТВС

Таблица 1. Расчетные и экспериментальные данные
ВОТК-НОВУ № 24

Название параметра	Значение в момент времени (11:00:00)
Давление воды, МПа	1
Мощность реактора, МВт	6
Расход воды через канал, кг/с	2,26
Экспериментальное значение температуры воды под крышкой реактора, °С	42,33
Экспериментальное значение температуры воды на выходе из канала, °С	64,96
Расчетное значение температуры воды на выходе из ТВС, °С	67
Отклонение расчетного значения от экспериментального, %	3



1 - теплоноситель (H₂O); 2 - оболочка (Э110); 3 - топливо (сплав U-Zr)

Рисунок 3. Расчетная модель ТВС

Проверка расчетной модели твэла проводилась путем сравнения результатов стационарного расчета с экспериментальными данными водоохлаждаемого канала № 24 в момент времени 11:00:00, которые занесены в таблицу 1.

Из таблицы видно, что результаты стационарного расчета хорошо согласуются с экспериментальными данными и отклонение не превышает 3 %.

На рисунке 4 приведены кривые распределения значений температуры модели по высоте твэла. На рисунке 5 показано температурное поле расчетной модели.

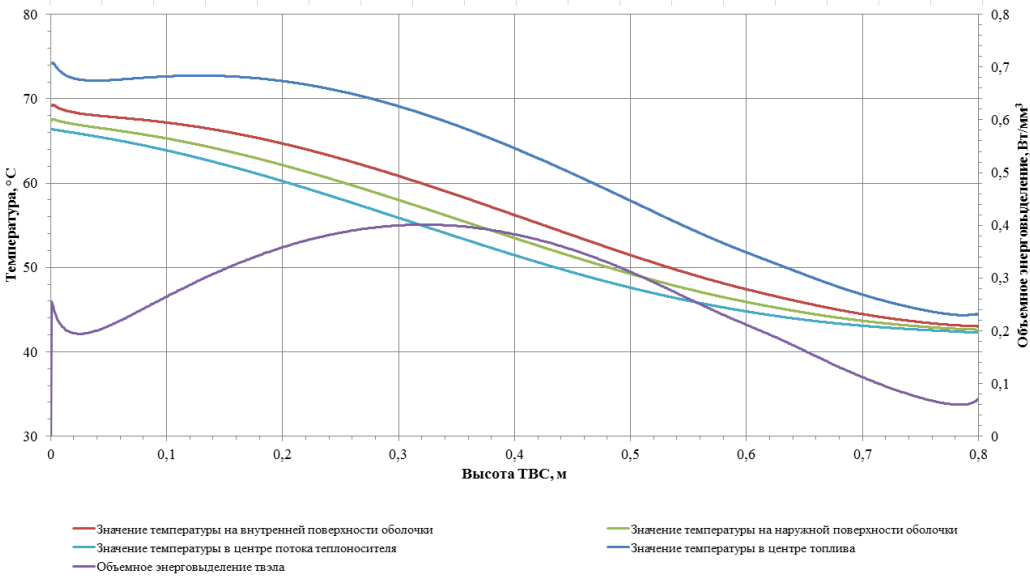


Рисунок 4. Распределение значений температуры расчетной модели по высоте твэла и объемное энерговыделение твэла

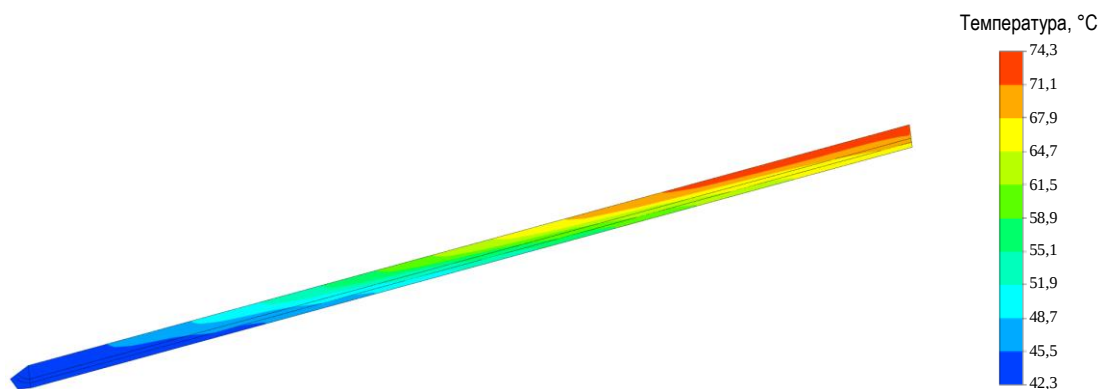


Рисунок 5. Температурное поле расчетной модели твэла

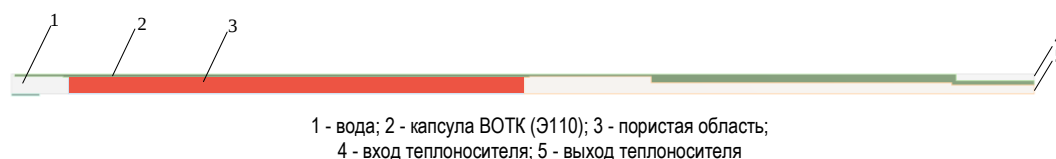


Рисунок 6. Пористая модель ВОТК

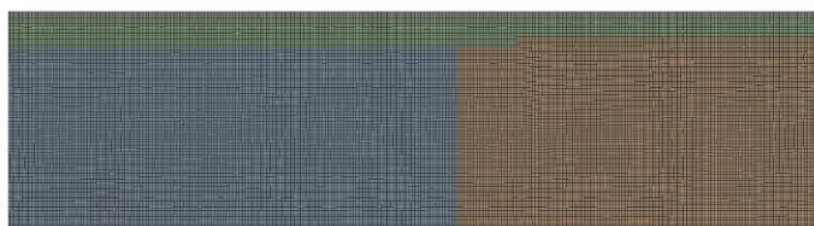


Рисунок 7. Участок конечно-элементной сетки пористой модели на выходе из ТВС

На рисунке 4 показано объемное энерговыделение твэла, которое является средним по каналам первого ряда [6]. Из графика видно, что значение температуры воды на выходе из ТВС составляет 67 °С. На рисунке 5 видно, что наиболее горячий участок модели находится в зоне выхода теплоносителя и значение температуры оболочки не превысит 71 °С.

4 ПОРИСТАЯ МОДЕЛЬ ВОТК

В пористой модели ВОТК, приведенной на рисунке 6, гетерогенная тепловыделяющая сборка моделируется пористой зоной с определенными параметрами (пористость, вязкостное сопротивление, инерционное сопротивление) [7]. Такое представление дает возможность моделировать ВОТК в виде осесимметричной плоской модели, что сокращает число элементов (рисунок 7) и расчетное время. Основное преимущество пористой модели заключается в том, что учитывается отвод тепла в жидкость, омывающий канал, также смоделированы участки канала сверху и снизу ТВС.

На рисунках 8 и 9 приведены температурное поле и распределение значений скорости в пористой модели ВОТК. Начальные условия приняты в соответствии с экспериментом П17-08 в момент времени 10:52:00: значение температуры воды на входе в реактор равно 37,9 °С; значение температуры воды на

выходе из канала равно 64,96 °С; расход воды через канал № 24 равен 2,26 кг/с; мощность канала равна 252,3 кВт [8].

Из рисунков 8 и 9 следует, что значения температуры и скорости воды на выходе из ВОТК равны 64,06 °С и 1,1 м/с соответственно. Температура воды на выходе из ВОТК отличается от экспериментального значения примерно на 1 °С.

На рисунке 10 приведены температурное поле и распределение значений скорости в пористой зоне.

Из рисунка 10 видно, что температура пористой зоны проседает вдоль стенки канала из-за стока тепла и на оси наблюдается более высокие значения скорости.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проделанной работы в программе Ansys Fluent разработаны теплофизические модели реактора ИВГ.1М, результаты стационарного расчета на которых хорошо согласуются с экспериментальными данными. Оптимизированная модель твэла и пористая модель ВОТК значительно сокращают расчетное время. Пористая модель ВОТК «снижает» консерватизм расчета за счет учета дополнительных элементов, которые участвуют в теплообмене, таких как стенка канала, вода межканального пространства, вода над и под ТВС.

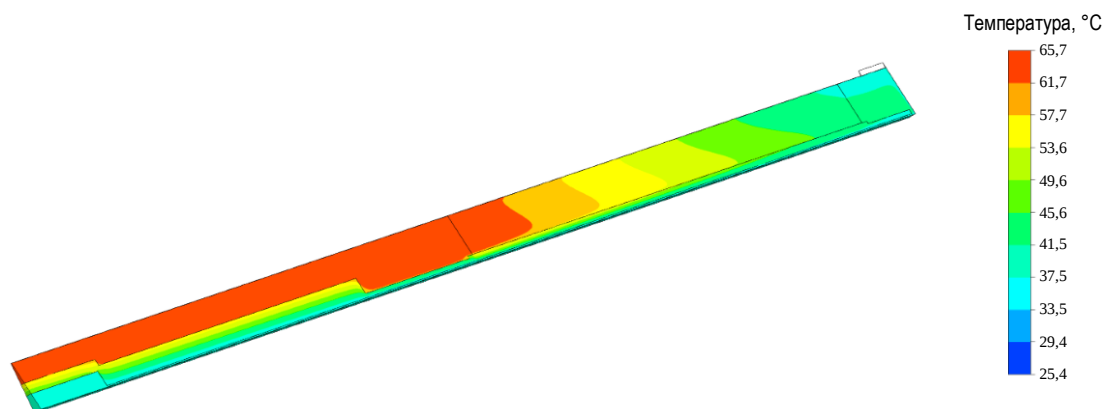


Рисунок 8. Распределение значений температуры в пористой модели ВОТК

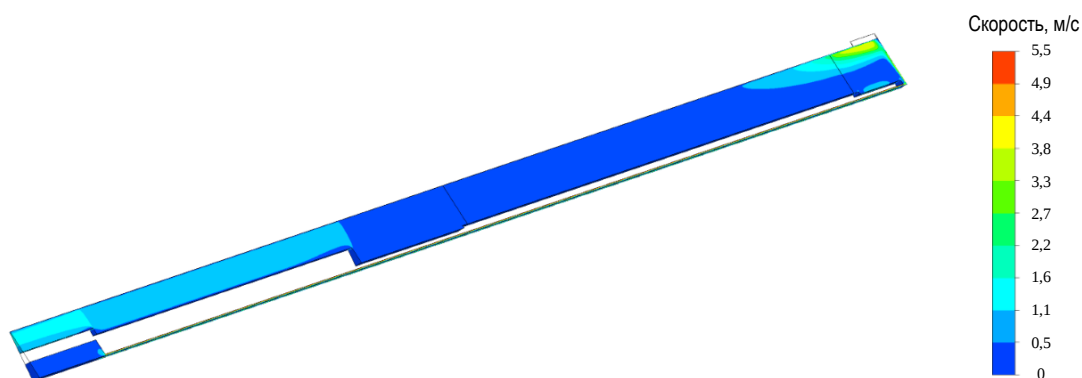


Рисунок 9. Распределение значений скорости в пористой модели ВОТК

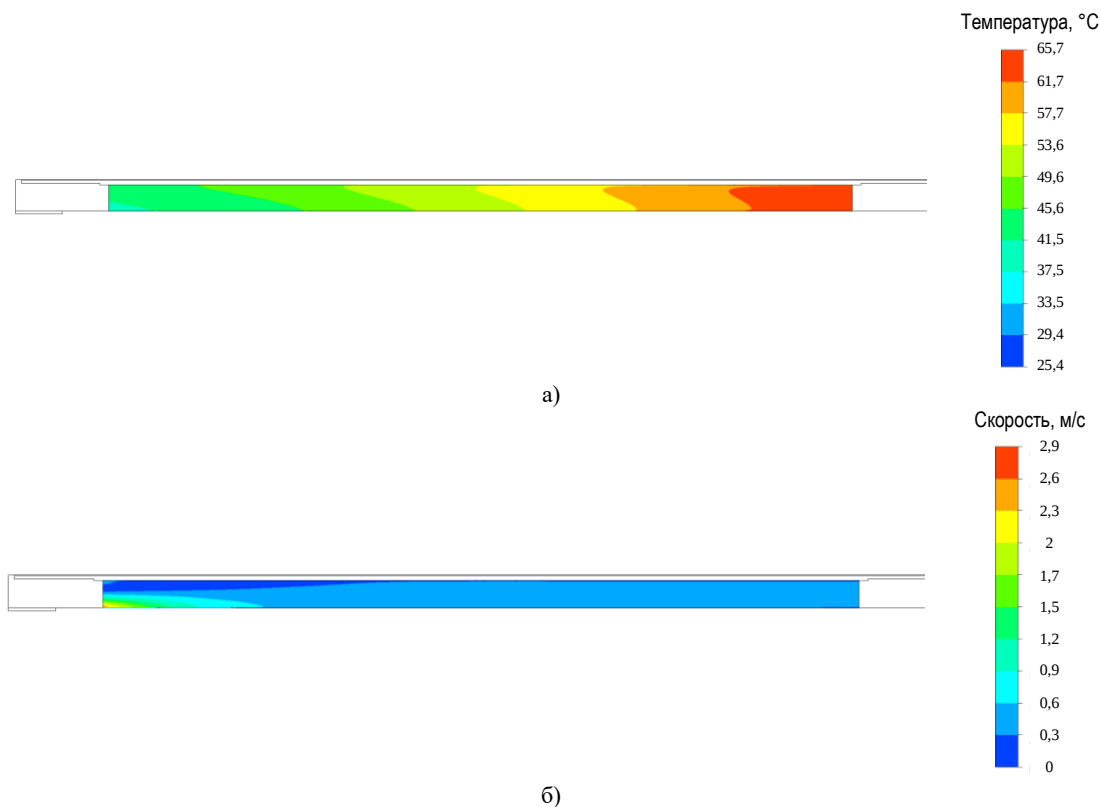


Рисунок 10. Теплофизические параметры пористой зоны: а) температурное поле;
б) распределение значений скорости

Разработанные модели ВОТК и ТВС позволяют проводить теплофизические расчеты аварийных ситуации по обоснованию безопасности.

Пористая модель ВОТК является перспективной для использования в расчетах с кипением и нуждается в дополнительных исследованиях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Комплекс исследовательских реакторов «Байкал-1». Исследовательский реактор ИВГ.1М: Отчет по анализу безопасности: АК.65000.01.966Д / отделение ИАЭ РГП НЯЦ РК. – Курчатов, 12.11.2013. – Инв. № К-51622.
2. Описание реактора ИВГ.1М: Отчет: / отделение ИАЭ РГП НЯЦ РК. – Курчатов, 10.11.2010. – № 37-370-01/1729 вн.
3. Характеристика активной зоны реактора ИВГ.1М с низкообогащенным ураном: отчет (Deliverable 2.3 under ANL Contract 0J-30461-0002B.) / ДГП ИАЭ РГП НЯЦ РК. рук. А.А. Колодешников, А.Д. Вурим, В.А. Зуев. – Курчатов, 2011. – 31 с.
4. Хажиidinov А.С. Валидация теплофизической модели ВОТК-НОУ реактора ИВГ.1М // Вестник НЯЦ РК. – Вестник НЯЦ РК. – 2018. – Вып. 3. – С. 45-49.
5. Хажиidinov А.С. Теплофизический расчет ВОТК-НОУ реактора ИВГ.1М в случае аварии, связанной с разгерметизацией // Вестник НЯЦ РК. – Вестник НЯЦ РК. – 2017. – Вып. 4. – С. 129-132.
6. «Расчет энерговыделения реактора ИВГ.1М с ВОТК-НОУ» № 11-220-02/69вн от 10 января 2017 г. / ДГП ИАЭ РГП НЯЦ РК.
7. Чиркин, В.С. Теплофизические свойства материалов ядерной техники – М.: Атомиздат, 1968. – 484 с.
8. «Акт о проведении пуска П-17-08 на ИР ИВГ.1М» №37-370-01/1475вн от 2017 г. / ДГП ИАЭ РГП НЯЦ РК.

ОҢТАЙЛАНДЫРЫЛҒАН ЖӘНЕ ЖЕТІЛДІРІЛГЕН МОДЕЛЬДЕР БОЙЫНША ИВГ.1М РЕАКТОРЫНЫҢ ССТК-ТБУ ТЕМПЕРАТУРАЛЫҚ ӨРІСІНІҢ ЕСЕБІ

А.С. Хажиidinov, А.С. Акаев, Д.А.Гановичев

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

Зерттеу объектісі ИВГ.1М реакторының төмен байытылған отыны бар (ВОТК-НОУ №24) суды салкындататын технологиялық канал болады. Ansys Fluent есептік бағдарламада ИВГ.1М реакторының ССТК кеуектік екі өлшемдік өске симметриялық модель әзірленді, бір жылу шығаратын элементтің сегментіне дейін (ТВЭЛ) жеңілдетілген, жылу шығаратын жинақтың (ЖШЖ) жұмыс моделі оңтайландырылды. П17-08 іске қосудың эксперименттік деректерімен стационарлық есептеу нәтижелерін салыстыру жолымен есептік модельдерді тексеру іске асырылды. Әзірленген модельдер қауіпсіздікті негіздеу бойынша апаттық жағдайлардың жылу физикалық есептерді жүргізуге мүмкіндік береді.

Кілт сөздер: ИВГ.1М реакторы, жылу шығаратын жинақ, ИВГ.1М реакторының стационарлық жылу есебі, кеуектік модель, ТВЭЛ-дің оңтайландырылған моделі.

COMPUTATION OF A TEMPERATURE FIELD OF THE IVG.1M WCTC-LEU IN PTIMIZED AND ADVANCED MODELS

A.S. Khazhidinov, A.S. Akayev, D.A. Ganovichev

Branch “Institute of Atomic Energy” RSE NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan

A test object is a water-cooled technological channel with low-enriched uranium fuel (WCTC-LEU # 24) of the IVG.1M reactor. A porous two-dimensional axisymmetric model of IVG.1M WCTC was designed using the Ansys Fluent computation program, available operating model of a fuel assembly (FA) was optimized, which was simplified to a segment of one fuel element (FE). Computation models have been checked through comparison of stationary computation results with experimental data of the P17-08 start-up. Designed models enable performing thermophysical computations in emergency situations for safety substantiation.

Keywords: IVG.1M reactor, fuel assembly, stationary thermal computation of the IVG.1M reactor, porous model, optimized FE model