

безопасность и надежность АЭС. Предпочтение отдать тому или другому теплоносителю невозможно без создания демонстрационных образцов реакторных установок с такими теплоносителями и получения опыта эксплуатации в составе АЭС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Пыльченков Э.Х.** Вопросы замораживания-размораживания жидкометаллического свинцово-висмутового теплоносителя в контурах реакторных установок. — В сб.: Тяжелые жидкометаллические теплоносители в ядерных технологиях (ТЖМТ-98). Обнинск, 1999, т. 1, с. 103—112. // **Pylchenkov E.H.** The Issue of Freezing-Defreezing Lead-Bismuth Liquid Metal Coolant in Reactor Installations' Circuits. — In: Proc. Conf. on Heavy-Liquid Metal Coolants in Nuclear Technologies. (HLMC-98). Obninsk, 1999, v. 1, p. 110—119.
2. **Handbook on Lead-Bismuth Eutectic Alloy and Lead Properties, Materials Compatibility, Thermal-Hydraulics and Technologies.** OECD/NEA, 2015.
3. **Pankratov D.V., Yefimov E.I., Toshinsky G.I. e.a.** Analysis of polonium danger in nuclear power installations with lead-bismuth coolant. — In: Proc. of ICAPP'05. Korea, 15—19 May, 2005, Paper № 5497.
4. **Wiggs L., Cox-DeVore C., Voelz G.** Mortality among a cohort of workers monitored for Po-210 exposure: 1944—1972 yy. epidemiology section occupational medicine group. — Health Phys., 1991, v. 61, № 1, p. 71—76.
5. **Tupper R., Minuskin B., Peters F., Kardos Z.** Polonium hazard associated with lead-bismuth used as a reactor coolant. — In: Proc. Intern. Conf. on Fast Reactors and Related Fuel Cycles. Current Status and Innovations Leading to Promising Plants. Kyoto, Japan, 1991, v. 4, p. 5.6/1—5.6/9.
6. **Mihara T., Tanaka Y., Enuma Y.** A Conceptual design study on various types of HLMC fast reactor plant. — In: Intern. Working Material IAEA-AG-1076, IWG-FR104, 2000, p. 47—54.
7. **Cinotti L., Smith C., Sekimoto H. e.a.** Lead-cooled system design and challenges in the frame of Generation IV International Forum. — J. Nucl. Mater., 2011, v. 415, p. 245—253.
8. **Toshinsky G.I., Martynov P.N.** Large-scale use of bismuth in future nuclear power. — In: Bismuth: Characteristics, Production and Applications. Ch. 3. NY: Nova Sci. Publ., 2012, p. 95—22.
9. **Троянов В.М., Василенко В.А., Колики М.В. и др.** Опыт эксплуатации реакторов с теплоносителем свинец—висмут. — Атомная энергия, 2023, т. 134, вып. 3—4, с. 111—119. // **Troyanov V.M., Vasilenko V.A., Kolik M.V. e.a.** Lessons Learned on the Operation Experience for Lead-Bismuth Nuclear Power Reactors. — Atomic Energy, 2023, v. 134, № 3—4, p. 111—119.
10. **Стратегия 2021:** Стратегия развития ядерной энергетики России до 2050 года и перспективы на период до 2100 года. М., Госкорпорация «Росатом», 2023.

Поступила в Редакцию 14.03.24

УДК 621.039.534...23

ПОЯЧЕЙКОВЫЙ РАСЧЕТ ТВС ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ РЕАКТОРНЫХ УСТАНОВОК ПО ПРОГРАММЕ МАТАДОР

Залесов А.С., Чуркин А.Н., Баусов А.М. (АО ОКБ «Гидропресс», г. Подольск)

e-mail: zalesov_as@grpress.podolsk.ru

В рамках энергетических систем четвертого поколения ядерные установки с водой сверхкритического давления и быстрые реакторы с жидкометаллическим теплоносителем рассматриваются в качестве инновационных направлений развития атомных технологий. В настоящее время в АО ОКБ «Гидропресс» ведутся работы по обоснованию выбранной конструкции ТВС для ВВЭР-СКД и проектируются аналогичные СВБР-100 и СВЕТ-М реакторные установки с тяжелым жидкометаллическим теплоносителем. Одна из особенностей перечисленных реакторов — высокая плотность теплового потока с поверхности твэлов, поэтому для предотвращения условий, приводящих к их перегреву, в ак-

тивной зоне планируют использовать конструктивные элементы для интенсификации теплообмена. Твэлы с навивкой на оболочке по спирали проволокой позволяют, с одной стороны, турбулизировать течение за счет дополнительной закрутки потока, с другой, обеспечить их дистанционирование.

Проволочная навивка существенно влияет на формирование гидравлических характеристик, поэтому должна учитываться в теплогидравлическом расчете активной зоны. Основная трудность расчета заключается в том, что в поячейковых программах отсутствует рекомендованный и общепризнанный подход к учету влияния проволочной навивки. В расчетных мо-

делях, реализующих разные модификации теплогидравлического анализа пучков стержней с дистанционирующей проволоочной навивкой в поячейковом приближении, геометрия проходного сечения моделируется упрощенно без учета проволоочной навивки, изменение скорости потока в поперечном направлении корректно описывается только для центральных каналов, для периферийных каналов эти модели требуют уточнения или неприменимы [1—4].

В связи с ростом компьютерных мощностей стало возможным использовать геометрическую модель, которая позволяет учесть указанные недостатки поячейкового расчета. Такой подход сопряжен со значительными методическими (задание исходных данных и сходимость решения) и техническими (подробное разбиение расчетной сетки в продольном направлении) трудностями, но в то же время точность расчетов может быть существенно выше.

В рассматриваемой в настоящей статье модели влияние проволоочной навивки на теплогидравлические характеристики учитывается путем задания переменных в продольном направлении проходного сечения, гидравлического диаметра ячеек основных каналов и поперечного сечения ячеек каналов связи. Применение модели показано на примере расчета экспериментов с охлаждением пучков стержней разной геометрии водой сверхкритического давления и свинцово-висмутовым теплоносителем. Моделирование выполнялось по разрабатываемой в АО ОКБ «Гидропресс» программе MATADOR [5]. Анализ осуществлялся путем сравнения с опытными данными и расчетами по программам-аналогам.

Цель настоящей работы — валидация программы MATADOR для пучков стержней с дистанционированием «ребро по оболочке» на экспериментальных данных.

Программа MATADOR предназначена для поячейкового расчета стационарных и нестационарных процессов тепломассопереноса в пучках гладких стержней и стержней с дистанционирующей проволоочной навивкой в режимах нормальной и аварийной эксплуатации без кипения теплоносителя, изменения геометрии и целостности элементов ТВС. Математическая модель основана на трехмерных уравнениях переноса массы, импульса и энергии, записанных в интегральной форме для неподвижных в

пространстве контрольных объемов. В каждом контрольном объеме свойства и параметры течения усредняются. Разбиение расчетной области проходного сечения ТВС может быть проведено как для треугольной, так и для квадратной решетки расположения твэлов. В продольном направлении моделируемые каналы разбиваются на слои. Для уравнений переноса массы, энергии и поперечной составляющей импульса используется один способ разбиения, для уравнения переноса продольной составляющей импульса — другой, в котором слои располагаются между средними линиями основных слоев. Пересечения каналов и слоев образуют в расчетной области смещенные один относительно другого наборы контрольных объемов.

В программе MATADOR применена полуневная схема конечно-разностной аппроксимации системы дифференциальных уравнений переноса. Для решения системы реализован численный метод, основанный на алгоритме SIMPLE [6]. Основными неизвестными величинами являются средние по контрольным объемам давление, энтальпия, массовый расход в продольном и поперечном направлениях. Остальные величины находятся из уравнения состояния или с помощью замыкающих соотношений. Для решения системы линейных алгебраических уравнений внедрен метод BiCGStab крыловского типа, который обеспечивает лучшую сходимость по сравнению с методом простых итераций или исключения Гаусса [7]. Более подробно система уравнений переноса, методика решения и система замыкающих соотношений, заложенные в программу MATADOR, описаны в [5, 8].

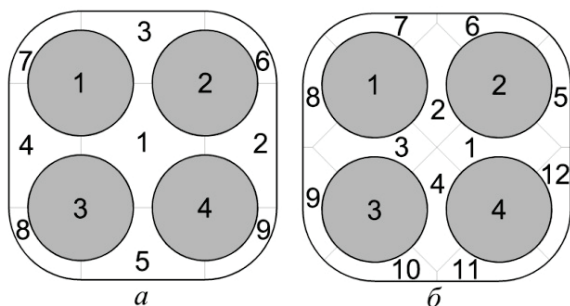
Результаты расчетов. Расчет 1. В Китае сооружен экспериментальный контур для изучения теплоотдачи к воде сверхкритического давления в вертикальных каналах разной геометрической формы, включая кольцевые зазоры и пучки стержней [9]. При изучении теплогидравлики в пучках тестовая секция состояла из наружной необогреваемой трубы из коррозионно-стойкой стали с помещенным внутри квадратным изолятором размером 20,32×20,32 мм с закругленными углами, имитирующим чехол топливной сборки. Пучок стержней представлял собой набор из четырех труб, каждая из которых имела наружный диаметр 8 мм, толщину стенки 1,5 мм, обогреваемую длину 600 мм. Зазор меж-

ду обогреваемыми стержнями поддерживался на уровне 1,44 мм. На таком же расстоянии находились имитаторы твэлов от закругленных углов квадратного керамического изолятора. На обогреваемой длине дистанционирующие элементы отсутствовали, на концах испытательного канала трубы точно приваривались к распоркам для исключения вибрации при подаче переменного тока.

В экспериментах измеряли угловое распределение температуры на внутренней поверхности стержней. Показания снимали в двух из четырех обогреваемых имитаторах. В одну из труб погружали специально сконструированный подвижный зонд, в другой трубе использовали неподвижные приваренные к внутренней поверхности термопары. Вдоль имитатора твэла было выделено на расстоянии 100 мм одна от другой пять высотных отметок, на которых проводили измерения с помощью зонда. Но экспериментальное угловое распределение температуры на внешней поверхности стенки известно только для пятой высотной отметки и получено в результате решения уравнения теплопроводности для цилиндрической стенки [9].

В программе MATADOR экспериментальный канал смоделирован девятью основными каналами и 12 каналами связи. По высоте каналы разбивали на 121 слой (рис. 1). Имитаторы твэлов моделировались заданным тепловым потоком от их наружной поверхности в теплоноситель.

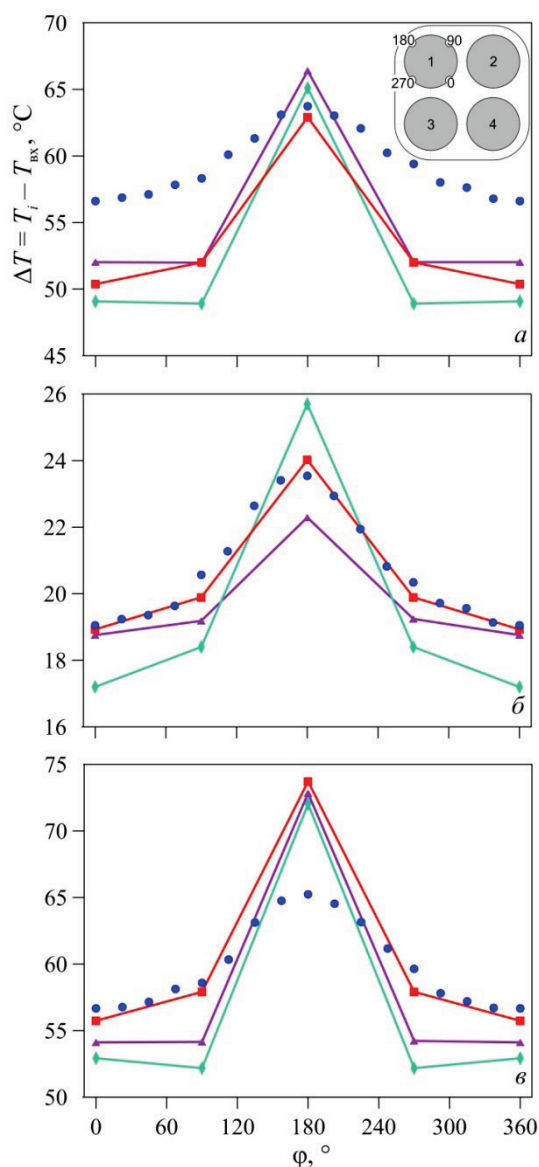
Особенность теплообмена при сверхкритических параметрах определяется отсутствием фазового перехода и сильным изменением теплофизических свойств вблизи псевдокритической температуры, которая соответствует максимуму удельной теплоемкости при конкретном давлении. В результате реализуются несколько характерных режимов теплообмена — нормаль-



Р и с. 1. Разбиение проходного сечения экспериментального канала: ①—④ — имитаторы твэлов; 1—9, 1—12 — основные каналы (а) и каналы связи (б) соответственно

ный, улучшенный и ухудшенный. Сложность математической реализации теплообмена при сверхкритических параметрах состоит в недостаточности экспериментального и теоретического описания явлений, лежащих в основе смены режимов. В настоящей работе при моделировании экспериментов коэффициент теплоотдачи рассчитывался по методике, которая единым образом описывает все режимы теплообмена [10].

Начало отсчета по азимуту и направление изменения угла поворота зонда показаны на рис. 2 вместе с сопоставлением эксперимен-



Р и с. 2. Распределение температуры стенки по окружности стержня при давлении 25 МПа, расходе 1000 кг/(м²·с), тепловом потоке 400 кВт/м² и температуре на входе 216 (а), 375 (б), 417 °С (в): ● — эксперимент; ■, ◆, ▲ — расчет по программе MATADOR, ТЕМПА-СК, ASSERT-PV соответственно

тальных точек [9] и расчетов по поячейковым программам MATADOR, ТЕМПА-СК [11] и ASSERT-PV [12].

В таблице приведено среднеарифметическое расхождение расчетной и измеренной температуры стенки при температуре воды на входе — ниже, около и выше псевдокритической точки, вблизи которой может наблюдаться смена режима теплообмена. Количественная оценка расхождений определена по формуле

$$\sigma_{\text{ср}} = \frac{1}{N_i} \sum_{i=1}^{N_i} \left[\frac{T_{i,\text{экс}} - T_{i,\text{рас}}}{T_{i,\text{экс}} - T_{\text{вх}}} \right], \quad (1)$$

где N_i — число точек; T — температура.

Среднеарифметическое расхождение расчетных и экспериментальных данных, %

Эксперимент	MATADOR	ТЕМПА-СК	ASSERT-PV
$T_{\text{вх}} < T_{\text{п.к}}$ (рис. 2, а)	9	12	9
$T_{\text{вх}} \sim T_{\text{п.к}}$ (рис. 2, б)	2	10	5
$T_{\text{вх}} > T_{\text{п.к}}$ (рис. 2, в)	5	10	8

Во всех случаях как эксперименты, так и расчеты показали симметричное изменение температуры стенки по окружности стержней с максимумом в секторах, обращенных к угловым каналам. Поячейковые программы позволяют определить только среднюю температуру теплоносителя и поверхности оболочек стержней в пределах одного контрольного объема, поэтому этим может быть объяснено расхождение. Кроме того, на результаты расчетов могло повлиять отсутствие проверенных методик учета турбулентного переноса массы, импульса и энергии в поперечном направлении при течении сверхкритических сред. При этом из таблицы видно, что температура, рассчитанная по программе MATADOR, наиболее близка к опытной по сравнению с другими программами-аналогами.

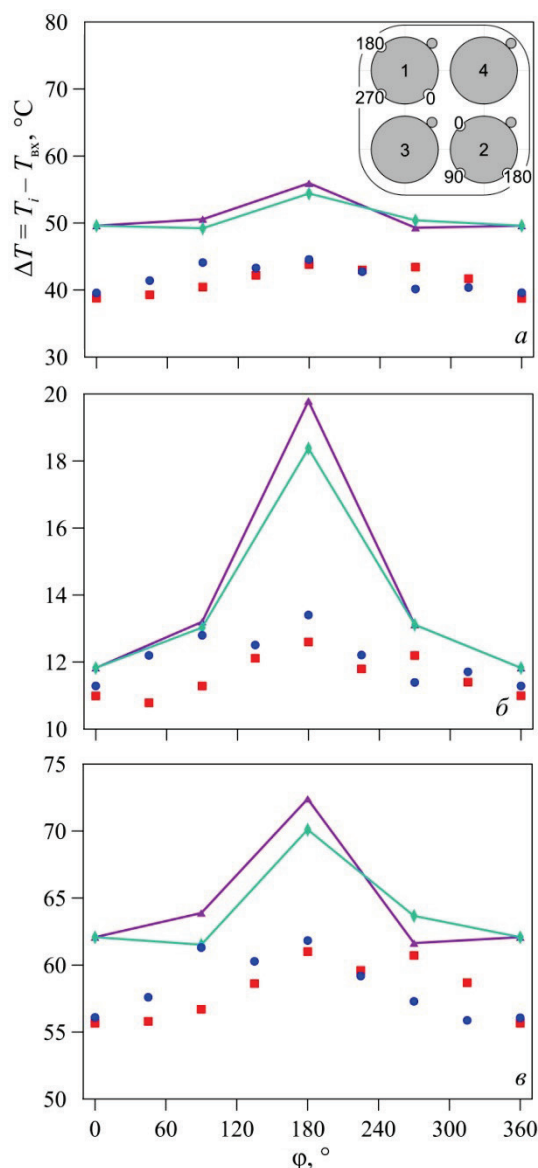
Расчет 2. В этом случае пучок стержней полностью повторял модель первого расчета, за исключением наличия на имитаторах твэлов навитой проволоки по всей длине. Проволоку из коррозионно-стойкой стали наружным диаметром 1,2 мм располагали по спирали вокруг каждого стержня с шагом навивки 200 мм [13].

Подвижные термопары находились внутри двух диагонально расположенных трубок, неподвижные термопары устанавливали внутри двух других. Температуру стенки каждого обогреваемого стержня измеряли на пяти высотных отметках на расстоянии 150, 250, 350, 450 и 550 мм от входа в исследуемый участок. Поскольку измеряли температуру на внутренней поверхности имитаторов, то, вероятно, температура на внешней поверхности была получена после решения уравнения теплопроводности.

В программе MATADOR влияние спиральной навивки по окружности стержней учитывали геометрическим методом, путем изменения проходного сечения, гидравлического диаметра ячеек основных каналов и поперечного сечения ячеек каналов связи по высоте расчетной области. В области навивки в ячейке основного канала проходное сечение уменьшалось, смоченный периметр увеличивался, вследствие чего снижался гидравлический диаметр ячейки. Предполагалось, что проволока размещалась вертикально прямо параллельно стержню в каждом контрольном объеме. На один полный оборот проволоочной навивки приходилось 24 высотных слоя, что соответствовало 15° поворота проволоки вокруг стержней на один слой.

Начало отсчета по азимуту и направление изменения угла поворота зонда показаны на рис. 3 вместе с сопоставлением экспериментов [13] и расчетов по программе MATADOR на высотной отметке 550 мм. Видно, что за счет некомпенсированной закрутки потока дистанционирующей проволокой в периферийных ячейках наблюдались периодические отклонения перепада температуры между углом 90° (270°) и 180° .

Общая тенденция завышения результатов расчетов по программе MATADOR наблюдалась во всех экспериментах. Максимальное расхождение температуры составило около 10°C . В экспериментальных данных отмечено смещение максимума температуры стенки по окружности стержней из угловых в боковые каналы. Приведенный эффект не удалось описать с помощью программы MATADOR, поскольку внедренные в нее замыкающие соотношения для расчета коэффициентов теплоотдачи и межканального обмена применимы только для пучков



Р и с. 3. Распределение температуры стенки по окружности стержней при давлении 25 МПа, расходе 1000 кг/(м²·с), тепловом потоке 400 кВт/м² и температуре на входе 267 (а), 378 (б), 419 °С (в): ●, ■ — эксперимент, стержень 1, 2 соответственно; ◆, ▲ — расчет по программе MATADOR, стержень 1, 2 соответственно

гладких стержней. Систематическое завышение расчетных значений также может быть объяснено тепловыми потерями, которые не оценены и не приведены в [13]. Дополнительным источником систематического завышения может служить ошибка в определении электрической мощности, выделяемой в экспериментальном участке, например, не учтены потери на внешнем сопротивлении.

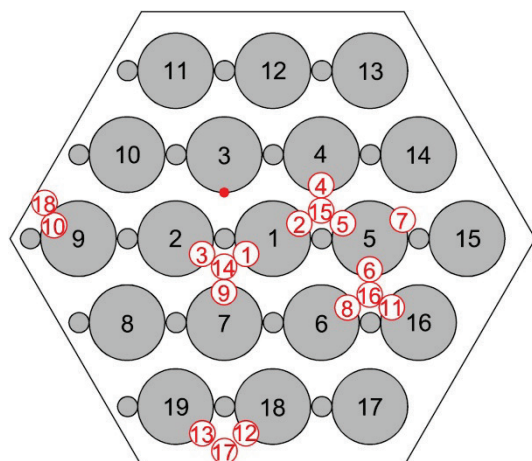
При сравнении экспериментов в расчетах 1 и 2 можно отметить различия в распределении температуры стенки по окружности стержней.

Ранее было отмечено, что распределение температуры по окружности гладких стержней симметрично относительно угла 180°. Максимальная температура стенки наблюдалась в угловом канале (угол 180°), минимальная — в центральном канале (угол 0 и 360°). Распределение температуры по окружности стержней с проволоочной навивкой несимметрично относительно угла 180° в результате закрутки потока теплоносителя, которая из-за дополнительных конвективных токов уменьшила градиент температуры теплоносителя между каналами. При этом прослеживалась зависимость распределения температуры стенки по окружности стержней от расположения навивки. Максимальная температура стенки по окружности гладких стержней выше, чем стержней с проволоочной навивкой, на несколько градусов при заданных режимных параметрах (см. рис. 2, б и 3, б, рис. 2, в и 3, в), что свидетельствует об интенсификации теплообмена теплоносителя с оболочкой.

Расчет 3. Исследования влияния дистанционирующей навивки на формирование потока и температурного поля были проведены на стенде NACIE-UP (Италия), предназначенном для изучения теплогидравлических процессов в жидкометаллическом теплоносителе. В работе [14] приведены результаты измерения локальной температуры свинцово-висмутového сплава и оболочек имитаторов твэлов в стационарном режиме эксперимента ADP10, который был смоделирован в программе MATADOR.

Тестовая секция состояла из 19 стержней с проволоочной навивкой. Электронагревательные стержни наружным диаметром 6,55 мм и обогреваемой длиной 600 мм размещали в треугольной решетке с шагом 8,4 мм. Проволочную навивку наружным диаметром 1,75 мм располагали по спирали вокруг каждого стержня с шагом 262 мм.

Экспериментальный канал оснащен в общей сложности 67 термопарами (рис. 4). На трех высотных отметках (секторах А, В, С) размещены 13 термопар, встроенных в оболочки имитаторов твэлов, и пять термопар, измеряющих температуру теплоносителя. Высотные отметки расположены на расстоянии 38, 300 и 562 мм от начала обогреваемого участка. Имитатор твэла 3 оснащен 13 термопарами, встроенными в оболочку и размещенными вдоль через каждые

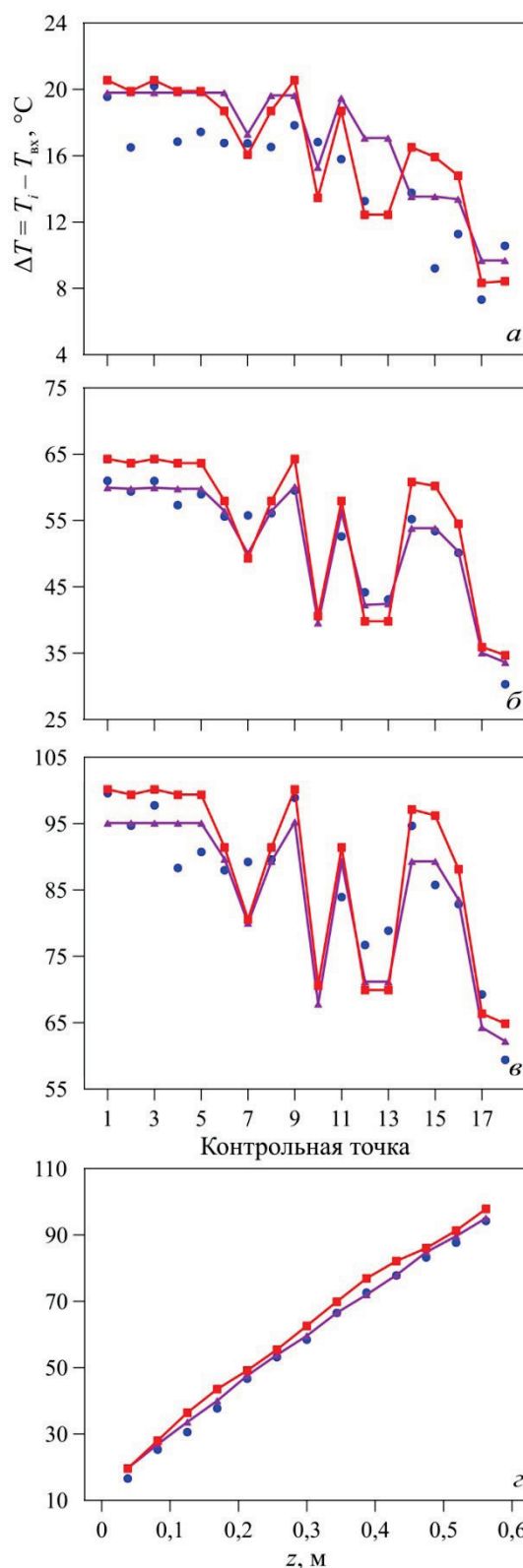


Р и с. 4. Схема расположения термодатчиков в экспериментальном канале: 1—19 — имитаторы твэлов; 1—18 — термодатчики секторов А, В, С; • — термодатчик имитатора твэла 3

43,6 мм, начиная от первой высотной отметки (сектор А).

В программе MATADOR проходное сечение экспериментального канала стенда NACIE-UP разбивали на 42 основных и 60 каналов связи. По высоте пучок был разделен на 166 слоев. Один полный оборот проволоочной навивки состоял из 36 слоев, что соответствовало 10° поворота проволоки вокруг стержней на один слой. Расчетную модель имитатора твэла разбивали на 10 слоев в радиальном, 100 слоев в аксиальном, 5 или 6 слоев в азимутальном направлениях в зависимости от расположения стержня.

На рис. 5 приведены результаты экспериментов [14] и расчетов по поящечковым программам MATADOR и YAOGUANG [15]. Видно, что программа MATADOR корректно описывает распределение температуры оболочек имитаторов твэлов и теплоносителя в пучках стержней с проволоочной навивкой. Количественная оценка отклонений расчетов от экспериментов показала, что среднеарифметическое расхождение по формуле (1) составило 7 и 12% для температуры оболочек и теплоносителя по программе MATADOR соответственно и 4% для температуры по программе YAOGUANG. Расхождения могут быть объяснены погрешностью коэффициентов замыкающих соотношений для поперечного переноса импульса и теплоты, которые заложены в основу программ, неопределенностью режимных и геометрических параметров, которые являлись исходными данными для расчета, а также ошибкой в определении



Р и с. 5. Распределение температуры стенки имитаторов твэлов и теплоносителя в эксперименте ADP10 в поперечном сечении секторов А (а), В (б), С (в) и вдоль имитатора твэла 3 (г): • — эксперимент; ■, ▲ — расчет по программе MATADOR и YAOGUANG соответственно

мощности тепловыделения на обогреваемом участке.

Выводы. Таким образом, результаты расчета экспериментов по программе MATADOR позволили сделать следующие выводы:

в экспериментах на гладком пучке стержней, охлаждаемых водой при сверхкритическом давлении, наблюдается совпадение расчетов с опытными данными и результатами моделирования по аналогичным программам. Численные значения по программе MATADOR и экспериментальные измерения в среднем отличаются не более чем на 10%;

расчеты экспериментов охлаждения пучка стержней с дистанционирующей проволоочной навивкой водой при сверхкритическом давлении оказываются неудовлетворительными. Одна из причин — недостаточная изученность тепло-массообмена при заданных условиях. В настоящее время нет подходящих корреляций для расчета коэффициентов теплоотдачи и межканального обмена при охлаждении пучков стержней со спиральной навивкой водой сверхкритического давления. Эти проблемы являются общемировыми, поэтому требуют дополнительных исследований для их решения;

на основе качественного и количественного анализа подтверждена приемлемая для инженерных расчетов точность моделирования по программе MATADOR эксперимента с охлаждением пучка стержней свинцово-висмутовым теплоносителем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ginsberg T. Forced-flow interchannel mixing model for fuel rod assemblies utilizing a helical wire-wrap spacer system. — Nucl. Engng Des., 1972, v. 22, № 1, p. 43—50.
2. Ninokata H., Efthimiadis A., Todreas N. Distributed resistance modeling of wire-wrapped rod bundles. — Ibid., 1987, v. 104, № 1, p. 93—102.
3. Сорокин А.П., Кузина Ю.А., Сорокин Г.А. и др. Моделирование процессов тепло- и массообмена в ТВС быстрых реакторов в рамках поканального метода расчета. Обобщенные характеристики обмена для однофазных потоков жидких металлов. — Вопросы атомной науки и техники. Сер. Ядерно-реакторные константы, 2020, вып. 2, с. 104—130.
4. Афонин С.Ю., Афремов Д.А., Захаров А.Г. и др. Комбинированная методика теплогидравлического расчета тепловыделяющих сборок реакторов с жидкотеплоносителем и ее обоснование. — Там же. Сер. Обеспечение безопасности АЭС, 2016, вып. 36, с. 78—85.
5. Залесов А.С., Чуркин А.Н. Программа MATADOR для расчета локальных неоднородных процессов тепло-массообмена в пучках тепловыделяющих стержней. — Там же. Сер. Физика ядерных реакторов, 2023, вып. 3, с. 29—40.
6. Патанкар С. Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости. Пер. с англ. Под ред. В.Д. Виоленского. М.: Энергоатомиздат, 1984. 124 с.
7. Vorst H. Bi-CGSTAB: a fast and smoothly converging variant of Bi-CG for solution of non-symmetric linear systems. — SIAM J. Sci. Statistical Comp., 1992, v. 13, p. 631—644.
8. Залесов А.С. Моделирование программой MATADOR процессов тепло-массообмена в тепловыделяющих сборках быстрых реакторов с дистанционирующей проволоочной навивкой. — Вопросы атомной науки и техники. Сер. Ядерно-реакторные константы, 2024, вып. 3, с. 224—237.
9. Wang H., Bi Q., Wang L. e.a. Experimental investigation of heat transfer from 2×2 rod bundle to supercritical water. — Nucl. Engng Des., 2014, v. 275, p. 205—218.
10. Deev V.I., Kharitonov V.S., Baisov A.M. e.a. Universal dependencies for the description of heat transfer regimes in turbulent flow of supercritical fluids in channels of various geometries. — J. Supercritical Fluids, 2018, v. 135, p. 160—167.
11. Бaisov A.M., Чуркин А.Н. Валидация программы ТЕМПА-СК на экспериментах с пучками тепловыделяющих стержней, охлаждаемых водой сверхкритического давления. — Вопросы атомной науки и техники. Сер. Физика ядерных реакторов, 2022, вып. 3, с. 4—15.
12. Rao Y., Onder E., Podila K. Assessment of subchannel code ASSERT-PV for supercritical applications. — J. Supercritical Fluids, 2016, v. 117, p. 164—171.
13. Wang H., Bi Q., Leung L.K.H. Heat transfer from 2×2 wire-wrapped rod bundle to supercritical pressure water. — Intern. J. Heat Mass Transfer, 2016, v. 97, p. 486—501.
14. Marinari R., Di Piazza I., Tarantino M. e.a. Experimental test and post-test analysis of non-uniformly heated 19-pins fuel bundle cooled by heavy liquid metal. — Nucl. Engng Des., 2019, v. 343, p. 166—177.
15. Zhang R., Zhang D., Liang Y. e.a. Subchannel thermal-hydraulic analysis of a wire-wrapped 19-pin rod bundle in the NACIE-UP facility. — Ann. Nucl. Energy, 2024, v. 196, p. 110209.

Поступила в Редакцию 22.03.24