

УДК 621.039.586

DOI: 10.46960/1816-210X_2023_4_72

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-РАСЧЕТНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЕСТЕСТВЕННОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ СВИНЦОВО-ВИСМУТОВОГО ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ

Н.А. ПрибатуринORCID: 0009-0005-3861-6630 e-mail: nialp@ibrae.ac.ruИнститут проблем безопасного развития атомной энергетики РАН
*Москва, Россия***П.Д. Лобанов**ORCID: 0000-0002-3020-6021 e-mail: lobanov@itp.nsc.ruИнститут теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН
*Новосибирск, Россия***А.С. Курдюмов**ORCID: 0000-0002-1833-0484 e-mail: kurdumov@itp.nsc.ruИнститут теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН
*Новосибирск, Россия***А.И. Светоносков**ORCID: 0009-0000-3540-4070 e-mail: svetonosov.a.i@gmail.comИнститут теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН
*Новосибирск, Россия***А.В. Чинак**ORCID: 0000-0003-3011-7464 e-mail: chinak@mail.ruИнститут теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН
*Новосибирск, Россия***В.В. Чуданов**ORCID: 0000-0002-6227-6083 e-mail: chud@ibrae.ac.ruИнститут проблем безопасного развития атомной энергетики РАН
*Москва, Россия***А.Е. Аксенова**ORCID: 0000-0003-4649-6788 e-mail: aks@ibrae.ac.ruИнститут проблем безопасного развития атомной энергетики РАН
*Москва, Россия***В.А. Первичко**ORCID: 0000-0002-0466-6358 e-mail: valper@ibrae.ac.ruИнститут проблем безопасного развития атомной энергетики РАН
Москва, Россия

Выполнено экспериментально-расчетное исследование развития естественной циркуляции свинцово-висмутового теплоносителя в замкнутом циркуляционном контуре. Показано формирование устойчивого течения жидкометаллического теплоносителя из состояния покоя за счет подвода избыточного тепла к имитатору

тепловыделяющей сборки. С помощью CFD модуля CONV-3D на базе DNS выполнено моделирование происходящих процессов. Показано хорошее совпадение между результатами эксперимента и расчета по достигаемому температурному напору и расходу теплоносителя при различной мощности энерговыделения в имитаторе тепловыделяющей сборки.

Ключевые слова: тяжелый жидкометаллический теплоноситель, естественная циркуляция, эксперимент, DNS.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Прибатурин, Н.А. Экспериментально-расчетное исследование естественной циркуляции свинцово-висмутового теплоносителя / Н.А. Прибатурин, П.Д. Лобанов, А.С. Курдюмов, А.И. Светоносков, А.В. Чинак, В.В. Чуданов, А.Е. Аксенова, В.А. Первичко // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2023. № 4. С. 72-81. DOI: 10.46960/1816-210X_2023_4_72

EXPERIMENTAL AND NUMERICAL STUDY OF NATURAL CIRCULATION OF LEAD-BISMUTH COOLANT

N.A. Pribaturin

ORCID: 0009-0005-3861-6630 e-mail: nialp@ibrae.ac.ru
Nuclear Safety Institute RAS
Moscow, Russia

P.D. Lobanov

ORCID: 0000-0002-3020-6021 e-mail: lobanov@itp.nsc.ru
Kutateladze Institute of Thermophysics SB RAS
Novosibirsk, Russia

A.S. Kurdyumov

ORCID: 0000-0002-1833-0484 e-mail: kurdumov@itp.nsc.ru
Kutateladze Institute of Thermophysics SB RAS
Novosibirsk, Russia

A.I. Svetonosov

ORCID: 0009-0000-3540-4070 e-mail: svetonosov.a.i@gmail.com
Kutateladze Institute of Thermophysics SB RAS
Novosibirsk, Russia

A.V. Chinak

ORCID: 0000-0003-3011-7464 e-mail: chinak@mail.ru
Kutateladze Institute of Thermophysics SB RAS
Novosibirsk, Russia

V.V. Chudanov

ORCID: 0000-0002-6227-6083 e-mail: chud@ibrae.ac.ru
Nuclear Safety Institute RAS
Moscow, Russia

A.E. Aksenova

ORCID: 0000-0003-4649-6788 e-mail: aks@ibrae.ac.ru
Nuclear Safety Institute RAS
Moscow, Russia

V.A. Pervichko

ORCID: **0000-0002-0466-6358** e-mail: **valper@ibrae.ac.ru**

Nuclear Safety Institute RAS

Moscow, Russia

Abstract. An experimental and numerical study of the development of natural circulation of lead-bismuth coolant in a closed circulation loop was carried out. The formation of a stable flow of liquid metal coolant from a state of rest due to the supply of excess heat to the fuel assembly simulator is shown. Simulation of the ongoing processes was performed using the CFD module CONV-3D based on DNS. A good agreement between the results of experiment and calculation is shown in terms of the achieved temperature difference and coolant flow rate at different power output in the fuel assembly simulator.

Key words: heavy liquid metal coolant, natural circulation, experiment, DNS.

FOR CITATION: N.A. Pribaturin, P.D. Lobanov, A.S. Kurdyumov, A.I. Svetonosov, A.V. Chinak, V.V. Chudanov, A.E. Aksenova, V.A. Pervichko. Experimental and numerical study of natural circulation of lead-bismuth coolant. Transactions of NNSTU n.a. R.E. Alekseev. 2023. № 4. Pp. 72-81. DOI: 10.46960/1816-210X_2023_4_72

Для безопасности реакторных установок большое значение имеют исследования течения с естественной циркуляцией теплоносителя. Присутствие остаточного тепловыделения при расхолаживании реактора в силу высокой температуры теплоносителя требует сложных решений. Реальные размеры контура реакторной установки также усложняют проведение экспериментов и использование методик измерения скоростей течения, полей температуры и касательных напряжений на стенках каналов. Подобные исследования развития естественной конвекции в жидкостях с малым числом Прандтля при разных числах Рэлея требуют как проведения экспериментов на лабораторных стендах, так и пре- и пост-тестовых расчетов при помощи CFD-кодов, которые позволят дополнить матрицу верификации, выработать рекомендации экспериментаторам, повысив таким образом качество расчетных обоснований для промышленно-энергетического комплекса.

Работы по исследованию режима естественной циркуляции применительно к охлаждению реакторных установок с тяжелым жидкометаллическим теплоносителем активно ведутся в Италии, Швеции, Германии, Индии и Китае, а также в Европейском атомном агентстве [1-4]. Эти экспериментальные данные и результаты численного моделирования актуальны для анализа конструкции разрабатываемых быстрых ядерных реакторов бассейнового типа с жидкометаллическим теплоносителем с точки зрения их безопасности и понимания процессов тепло и гидродинамики, а также оценки работоспособности и надежности систем пассивной безопасности. В процессе проверки вычислительных кодов проводятся открытые и слепые расчеты с использованием результатов интегральных экспериментов, позволяющие оценить уровень достоверности инструментов, используемых для анализа. Например, в [5] приведены экспериментальные данные для установки TALL-3D, касающиеся изучения условий развития неустойчивости циркуляции. Установка используется для получения данных для связанных систем кодов: автономных, теплогидравлических (STH) и вычислительной гидродинамики (CFD). В работе дан обзор открытого и слепого бенчмарка для контура со свинцово-висмутовой эвтектикой. Для обоснования тепло- и гидродинамических характеристик ядерных энергетических установок и анализа их изменения в переходных процессах и аварийных ситуациях используются как системные, так и универсальные термогидродинамические CFD-коды [6]. Полученные с их помощью данные позволяют указать направления оптимизации параметров реакторных установок промышленно-энергетического комплекса и дополнить матрицу верификации разрабатываемых CFD-кодов.

Целью данной работы является экспериментальное и расчетное исследование формирования естественной циркуляции в контуре с предварительно заполненным неподвижным свинцово-висмутовым теплоносителем, определение зависимостей изменения расхода теплоносителя и температурного напора от выделяемой в имитаторе ТВС мощности для устано-

вившегося режима естественной циркуляции. Для вычислений использовался вихререзающий CFD-модуль на базе DNS-приближения (CONV-3D).

Экспериментальное исследование развития естественной циркуляции при течении свинцово-висмутового теплоносителя было выполнено на стенде, имеющем четыре циркуляционных контура, соединяющихся в верхней камере, семистержневой имитатор ТВС и четыре теплообменника. Стенд был собран по модульной схеме, что позволило в дальнейших исследованиях включать в работу от одного до четырех замкнутых гидродинамических контуров. В данной работе была использована одна циркуляционная петля. Схема стенда с местами установки термопар и основными размерами приведена на рис. 1а.

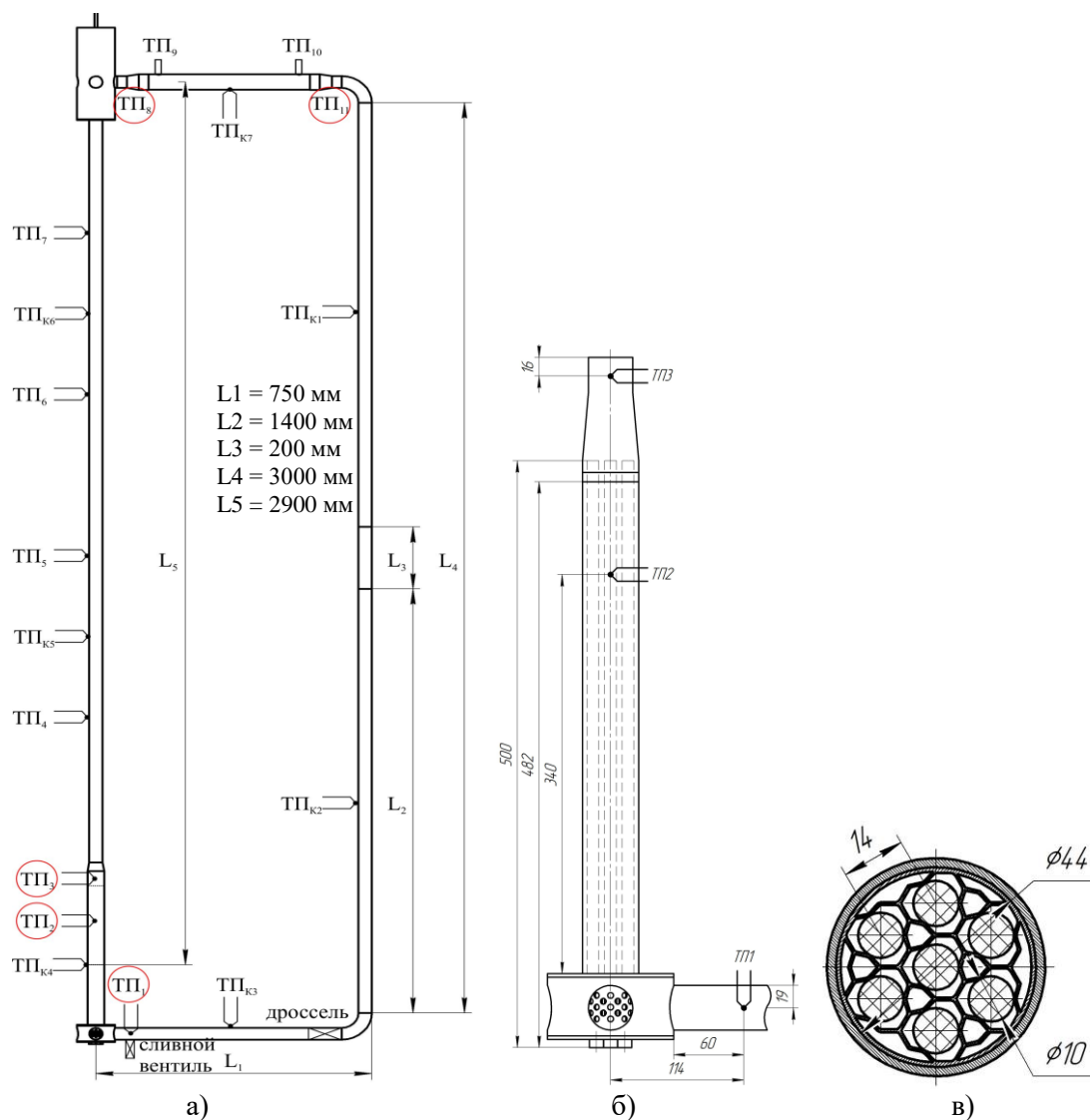


Рис. 1. Схемы циркуляционного стенда:

а) места установки термопар, б) имитатор ТВС, в) дистанционирующая решетка

Fig. 1. Schemes of the circulation test bench:

a) thermocouple installation places, b) fuel assembly simulator, c) spacer grid

Цилиндрические каналы стенда имеют один восходящий и нисходящий участки, изготовленные из нержавеющей стали. Внутренний диаметр каналов 35 мм с толщиной стенки 1,5 мм. Высота нисходящего участка $L_4=3000$ мм, расстояние между центрами областей нагрева теплоносителя и стока тепла составляет $L_5=2900$ мм. Значения смоченного периметра P каналов стенда, площади поперечного сечения S и гидравлического диаметра D_g приведены в табл. 1.

Таблица 1.
Геометрические параметры элементов стенда

Table 1.
Geometric parameters of test bench elements

	P, мм	S, мм²	Dг, мм
трубопровод	109,96	962,1	35
теплообменник	414,7	1017,9	9,81
ТВС	358,1	970,8	10,84

Модель-имитатор ТВС состоит из семи вертикальных стержней – имитаторов твэла внешним диаметром 0,01 м и длиной 0,5 м, установленных в гексагональной компоновке с относительным шагом 1,4 между центрами стержней. Сборка стержней помещена в цилиндрический корпус из нержавеющей стали внутренним диаметром 0,044 м. Схемы имитатора ТВС и положения тепловыделяющих стержней приведены на рис. 1 б,в. В качестве имитаторов твэлов были использованы «пальчиковые» электрообогреваемые устройства с номинальной мощностью каждого имитатора 2000 Вт. Для отвода тепла от циркуляционного контура использовался горизонтально установленный в верхней части контура проточный теплообменник. Было использовано масло для отвода тепла от свинцово-висмутowego теплоносителя. Масло прокачивалось через термостатирующее устройство, поддерживающее температуру масла на постоянном уровне. Вверху стенда был установлен расширительный бак цилиндрической формы с внутренним диаметром 100 мм и высотой 300 мм. Расстояние от дна бака до оси симметрии патрубка ввода теплоносителя равно 120 мм.

Система термостатирования стенда позволяла контролировать и поддерживать на постоянном уровне температуру и подводимую ко всем элементам стенда мощность. Было выделено 7 участков, на стенке каждого из которых были установлены контрольные термомпары (ТП_{к1} – ТП_{к7}). Для нагрева участков на них были намотаны индивидуально нагревательные элементы, подводимая мощность нагрева к которым контролировалась программным образом с использованием обратной связи от термомпар. Сигналы термомпар подавались на электронную плату, которая управлялась микроконтроллером *ATmega2560*. Микроконтроллер был подключен к компьютеру, что позволяло не только контролировать параметры эксперимента, но и осуществлять запись хода эксперимента в файл для последующей обработки и анализа. Во время проведения измерений каждую секунду производилась запись в файл значений температур на всех датчиках и подводимой мощности. Изменение подводимой с имитатору ТВС электрической мощности проводилось путем модуляции управляющих импульсов, подаваемых от электронной платы на твердотельные реле. Расположение термомпар на каналах стенда показано на рис. 1 а. Термомпары с обозначением ТП_{кх} использовались для контроля и поддержания внешней температуры стенок элементов стенда. Обогрев элементов стенда осуществлялся с помощью навивки нагревательного провода ВТН 1х1,0 с номинальной мощностью 140 Вт/м и максимальной температурой использования 400 °С.

Температура верхней части нисходящей секции контролировалась с помощью термомпары ТП_{к1}, нижней – термомпары ТП_{к2}. Для контроля температуры нижнего горизонтального участка использовалась ТП_{к3}, для контроля температуры внешней стенки имитатора ТВС – ТП_{к4}. Восходящий участок был разделен на нижний, температура которого измерялась термомпарой ТП_{к5}, и верхний с контролирующей термомпарой ТП_{к6}. Температура стенки теплообменника измерялась при помощи термомпары ТП_{к7}. Измерение температуры теплоносителя на выходе из имитатора ТВС осуществлялось с помощью ТП₃, место установки которой показано на рис. 1б, где приведены основные размеры имитатора ТВС. Теплоноситель, попадая в имитатор, перемешивался с помощью установленных внизу перфорированных элементов и дистанционирующей решетки, используемой для позиционирования имитаторов твэла (рис. 1в). Использовались две дистанционирующие решетки, установленных на расстоянии 10 мм

от торцов имитаторов твэла. Термопары, обозначенные как ТП₄-ТП₇, предназначены для контроля температуры стенки восходящего участка при течении перегретого за счет активации имитаторов твэлов тяжелого жидкометаллического теплоносителя. Они установлены на расстоянии от 500 мм от края имитатора ТВС и через 500 мм друг от друга. Температура свинцово-висмутового теплоносителя измерялась, помимо термодатчиков ТП₁-ТП₃, в канале на входе и выходе из теплообменного устройства в позициях, обозначенных ТП₈ и ТП₁₁. Помимо этого, измерялась температура масла термодатчиками ТП₉ и ТП₁₀. Они были плотно прижаты к стенке трубы маслопровода (толщина стенки – 0,2 мм) и сверху покрыты теплоизоляцией. Для измерений температуры теплоносителя в области энерговыделения внутри модели ТВС были использованы термодатчики с электроизолированным спаем. Перед выполнением экспериментов была проведена предварительная градуировка всех термодатчиков совместно с электронными усилителями. Скорость теплоносителя измерялась двухсенсорным датчиком, отслеживающим распространение «тепловой метки» в потоке теплоносителя.

Экспериментальные исследования были проведены при энерговыделении в имитаторе ТВС, величина которого изменялась в диапазоне от 1000 до 4000 Вт. В данном экспериментальном исследовании при старте эксперимента отсутствовала вынужденная циркуляция жидкометаллического теплоносителя и его движение осуществлялось только за счет развития естественной конвекции. Для этого контур предварительно из бака-хранилища полностью заполнялся жидким свинцово-висмутовым теплоносителем, затем проводился нагрев его температуры до 140 °С и последующее ее поддержание с помощью автоматической системы термостабилизации. После установления постоянной температуры во всех элементах стенда производился наброс энерговыделения на имитаторе ТВС. При выделении тепла в имитаторе ТВС происходил рост температуры теплоносителя в каналах стенда. При этом можно было отслеживать движение образованной в результате наброса мощности «тепловой метки» с помощью термодатчиков преобразователей ТП₄ – ТП₈ и ТП₁₁, а также контрольных термодатчиков. После фиксации изменения температуры перед теплообменным устройством включалась принудительная циркуляция масляного теплоносителя для съема избыточной мощности. Дальнейшее движение фронта тепла отслеживалось с помощью контрольных термодатчиков ТП_{кк}. Установление естественной циркуляции занимало достаточно продолжительное время, порядка нескольких десятков секунд, после чего стабилизировалось как энерговыделение на элементах стенда, так и контролируемые температуры.

На рис. 2 приведены примеры изменения температур перед входом в имитатор ТВС (ТП₁) и после него (ТП₂), температурный напор при нагреве теплоносителя в имитаторе ТВС; также показаны временные профили температур теплоносителя перед входом в теплообменник (ТП₈) и после выхода из теплообменника (ТП₁₁). Данные приведены для минимальной (рис. 2а) и максимальной (рис. 2б) мощности энерговыделения в имитаторе ТВС. Как видно из графиков, нагрев свинцово-висмутового теплоносителя в имитаторе ТВС составлял 13,1 °С при мощности энерговыделения в имитаторе ТВС, равной 1 кВт. Расход теплоносителя по контуру стенда для этого режима равен 0,054 л/с. Для этого и всех последующих режимов были рассчитаны значения чисел Рейнольдса и Ричардсона:

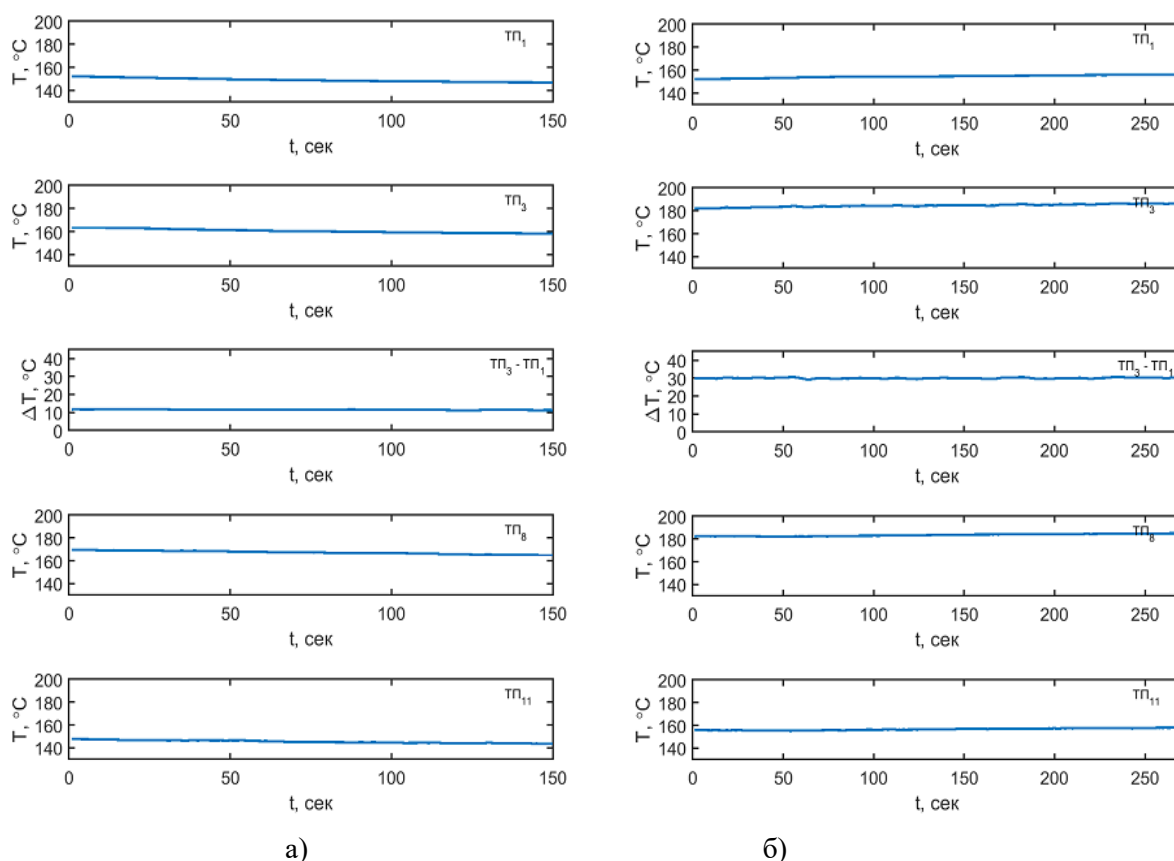
$$Re = \frac{uD_r}{\nu},$$

где u – средняя скорость течения, ν – кинематическая вязкость жидкости;

$$Ri = \frac{\Delta\rho gL}{\rho u^2},$$

где ρ – плотность жидкости, L – высота температурного столба.

Теплофизические свойства свинцово-висмутового теплоносителя определялись по таблицам [7], величина температурного перепада определялась по показаниям термодатчиков. Для эксперимента, результаты которого приведены на рис. 2, значения чисел Рейнольдса и Ричардсона равны 2180 и 15,95 соответственно.



**Рис. 2. Распределение температуры теплоносителя в элементах стенда:
при мощности энерговыделения:
а) 1 кВт, б) 4 кВт**

**Fig. 2. Distribution of coolant temperature in the test bench elements at power output:
а) 1 kW, б) 4 kW**

Увеличение подводимой к имитатору ТВС электрической мощности до 1,5 кВт приводит к увеличению разницы температуры между входом и выходом в модель – имитатор ТВС на 3,6 °С по сравнению с предыдущим случаем. При более высоких подводимых мощностях равных 3 и 4 кВт разница температур на входе в имитатор ТВС и выходе из него достигает 25,6 и 28 °С. Расход теплоносителя по циркуляционному контуру возрастает до 0,072 и 0,079 л/с, соответственно. Значения числа Рейнольдса при уровне подводимой мощности 3 кВт равно 2627, при 4 кВт – 2946, число Ричардсона составляет величину около 17,3.

Данные измерений сведены в табл. 2, где для каждого проведенного эксперимента указаны подводимая к имитатору ТВС электрическая мощность, температуры на входе в ТВС и выходе из ТВС, температурный напор, расход теплоносителя, плотность и вязкость теплоносителя, числа Рейнольдса для течения в ТВС, трубопроводе и теплообменнике. На рис. 3 приведена зависимость нагрева теплоносителя при прохождении через модель-имитатор ТВС от уровня подводимой электрической мощности. Четырехкратное повышение подводимой мощности приводит к повышению температурного напора для режима естественной циркуляции ΔT примерно в 2 раза. На рис. 4 приведен график изменения расхода теплоносителя от уровня мощности энерговыделения.

Верификационные расчеты были проведены на основе программы «Прецизионный масштабируемый вихререзающий CFD-модуль на базе DNS-приближения, ориентированный на петафлопсные (10^{15}) вычислительные ЭВМ. Версия 3.0» (код CONV-3D) [8].

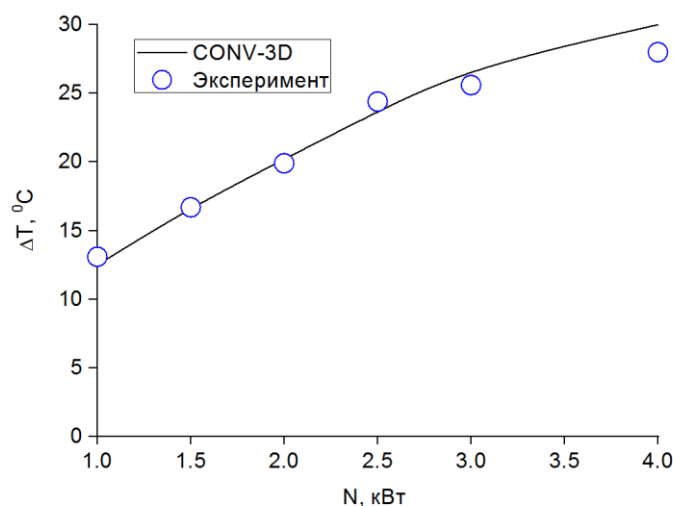


Рис. 3. Зависимость разницы температур на входе и выходе из имитатора ТВС от энерговыделения
Fig. 3. Dependence of the temperature difference at the inlet and outlet of the fuel assembly simulator on the power output

Таблица 2.
Результаты экспериментов при вариации энерговыделения

Table 2.
Results of experiments with varying power output

Тест №	1	2	3	4	5	6
Энерговыделение ТВС, кВт	1	1,5	2	2,7	3	4
Температура на входе в зону энерговыделения, °С	147,4	143,5	152,1	152,6	151	152,3
Температура на выходе из зоны энерговыделения, °С	160,5	160,2	172	177	176,6	183,4
Температурный напор, °С, эксперимент	13,1	16,7	19,9	24,4	25,6	28,0
Температурный напор, °С, расчет	12,5	16,7	20,2	23,7	26,9	30
Плотность ТЖМТ на холодной петле, кг/м ³	10521	10526	10515	10515	10517	10515
Плотность ТЖМТ на горячей петле, кг/м ³	10504	10505	10489	10483	10483	10475
Расход теплоносителя, л/с, эксперимент	0,054	0,058	0,063	0,070	0,072	0,079
Расход теплоносителя, л/с, расчет	0,055	0,063	0,070	0,075	0,080	0,084
Среднесмешанная температура, К	427,1	425,0	435,2	438,0	437,0	441,0
Плотность, кг/м ³	10513	10515	10502	10499	10500	10495
Вязкость, Па*с	0,0029	0,0029	0,0028	0,0028	0,0028	0,0027
Re ТВС	2180	2329	2638	2957	3041	3411
Re трубопровод	7101	7585	8592	9630	9906	11110

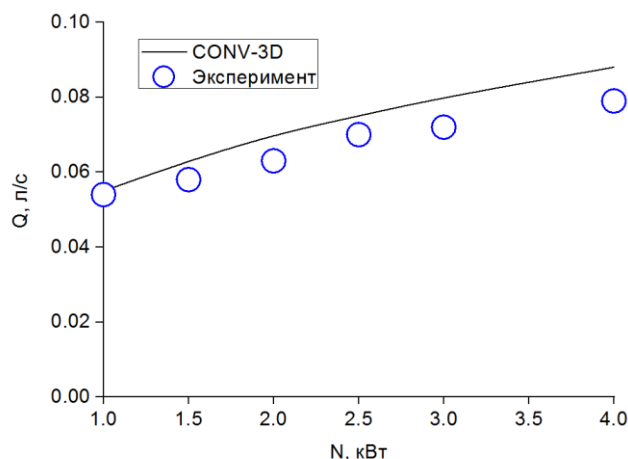


Рис. 4. Зависимость расхода ТЖМТ от энерговыделения

Fig. 4. Dependence of heavy liquid metal coolant consumption on power output

Расчеты были выполнены на сетке размера: 513x513x33 узлов; для расчетов был взят трехмерный гидравлический контур (рис. 1). Геометрия была построена с помощью программы *GeometryEditor*. Были проанализированы результаты измерений, выполненных с разными значениями мощности нагревателя в диапазоне от 1 до 3 кВт. В табл. 2 суммированы результаты расчетов в сравнении с экспериментом при разных значениях подводимой мощности. Результаты расчета были получены с точностью до достижения теплового баланса $\sim 1\%$. При сравнении данных эксперимента и расчета (рис. 3, 4 и табл. 2) наблюдается хорошее качественное и количественное их совпадение по температурному напору, измеренному ТП₁ и ТП₃. Отклонение расчетных данных от эксперимента не превышает 5 %.

Заключение

Установлено, что режим естественной циркуляции свинцово-висмутового теплоносителя формируется из состояния покоя теплоносителя, заполняющего циркуляционный контур без предварительной вынужденной циркуляции и только за счет подвода избыточного тепла к имитатору ТВС. Установление режима занимает время порядка 200 с, после чего параметры течения стабилизируются и не меняются в течение сколь угодно длительного времени. Показано хорошее совпадение между результатами эксперимента и расчета по достигаемому температурному напору и расходу теплоносителя при различной мощности энерговыделения в имитаторе ТВС.

CFD модуль CONV-3D на базе DNS приближения может быть использован для расчетов естественно-конвективного течения свинцово-висмутового теплоносителя в гидравлическом контуре при разных значениях вкладываемой мощности. Полученные с помощью CFD кода данные позволяют указать направления оптимизации параметров реакторных установок промышленно-энергетического комплекса и дополнить матрицу верификации разрабатываемых CFD-кодов.

Библиографический список

1. **Moscardini, M.** Numerical Analysis of the CIRCE-HERO PLOFA Scenarios / M. Moscardini, F. Galleni, A. Pucciarelli et al. // *Applied Sciences*. October, 2020.
2. **Tarantino, M.** et al. Natural and gas enhanced circulation tests in the NACIE heavy liquid metal loop // *Proc. 18th Intern. Conf. on Nucl. Engine. ICONE18*. May 17-21, 2010. Xi'an, China, p. ICONE18 – 29969.

3. **Grishchenko, D.** TALL-3D open and blind benchmark on natural circulation instability / D. Grishchenko, A. Papukchiev, C. Liud et al. // Nucl. Engin. Design. 358, 2020.
4. **Naphadea, P.** Experimental and CFD Study on Natural circulation Phenomenon in Lead Bismuth Eutectic Loop / P. Naphadea, A. Borgohainb, R. ThundilKaruppa Raja, N.K. Maheshwari // Procedia Engineering 64 (2013) 936-945.
5. **Grishchenko, D.** The TALL-3D facility design and commissioning tests for validation of coupled STH and CFD codes» / D. Grishchenko, M. Jeltsov, K. Kööp, A. Karbojian, W. Villanueva, P. Kudinov // Nuclear Engineering and Design. Vol. 290, 15 August, 2015. P. 144-153. 10.1016/j.nucengdes.2014.11.045
6. **Девкин, А.С.** Зарубежные теплогидравлические коды улучшенной оценки. Опыт разработки, создание и применение / А.С. Девкин, О.И. Мелихов, А.М. Москалев и др. – М.: ОЦПК при Минатоме РФ, 2000. – 176 с.
7. Справочник по теплогидравлическим расчетам в ядерной энергетике. Т.3 Теплогидравлические процессы при переходных и нестандартных режимах. Тяжелые аварии. Защитная оболочка. Коды, их возможности, неопределенности / под общ. ред. П.Л. Кириллова. – М.: ИздАт, 2014. – 688 с.
8. **Чуданов, В.В.** Расчет параметров свободно-конвективного течения свинцово-висмутевого сплава в полости с поперечным градиентом температуры с помощью кода CONV-3D / В.В. Чуданов, А.Е. Аксенова, В.А. Первичко // Атомная энергия. 2022. Т. 132. № 4. С. 240-242.

*Дата поступления
в редакцию: 05.10.2023*

*Дата принятия
к публикации: 11.11.2023*