

РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ МОДЕЛИ ПАРОГЕНЕРАТОРА БРЕСТ-ОД-300

В.А. Грабежная*, А.С. Михеев*, Ю.Ю. Штейн*, А.А. Семченков**

**ГНЦ РФ - Физико-энергетический институт имени А.И. Лейпунского, г. Обнинск*

***ОАО «Научно-исследовательский и конструкторский институт энерготехники имени Н.А. Доллежалея», г. Москва*



Приводятся результаты испытания трехтрубной модели парогенератора РУ БРЕСТ-ОД-300, обогреваемой свинцом, при докритическом (18 МПа) и сверхкритическом (25 МПа) давлении в водяном контуре при расходах воды 80, 100 и 120 % от номинального значения. Экспериментальные данные сравниваются с результатами расчетного моделирования с использованием кода RELAP5/mod 3.2.

Ключевые слова: реактор на быстрых нейтронах, модель парогенератора, витой канал, свинец, вода, температурные поля.

Key words: fast breeder reactor, model of steam generator, helically coiled tube, liquid lead, water, temperature distribution

ВВЕДЕНИЕ

В ОАО «НИКИЭТ» разрабатывается проект реакторной установки (РУ) БРЕСТ с реактором на быстрых нейтронах и свинцовым теплоносителем в первом контуре. Рассматриваются различные варианты парогенераторов реакторной установки. Одним из них является парогенератор с витыми трубами.

Разработка проекта РУ БРЕСТ-ОД-300 со свинцовым теплоносителем в первом контуре началась в НИКИЭТ в начале 2000-х гг. В том проекте РУ парогенератор (ПГ) прямоточного типа без промежуточных смесительных устройств был рассчитан на сверхкритические параметры по водяному контуру. Он представлял собой бухту витых теплообменных труб с углом наклона к горизонту в 8°. В настоящее время данная конструкция ПГ РУ БРЕСТ рассматривается в качестве одного из возможных вариантов ПГ, обогреваемого свинцовым теплоносителем, но с большим углом наклона – от 24 до 30° к горизонту. В одном из вариантов новой конструкции ПГ в качестве рабочего давления второго контура принято 18 МПа вместо сверхкритического давления, которое было заложено в ранний проект ПГ конструкции ОКБ «ГИДРОПРЕСС».

В реальной конструкции движение греющего теплоносителя опускное, однако в модели организовать подобное затруднительно. Поэтому для изучения влияния вида обтекания (поперечное и продольное) на коэффициент теплообмена со стороны греющего теплоносителя в ГНЦ РФ-ФЭИ были проведены эксперименты на

моделях парогенераторов при продольном обтекании вертикальной трубки и поперечном обтекании змеевика свинцом. Для этого были созданы две малые модели: одна однострунная с продольным обтеканием свинцом теплопередающей трубки, вторая с поперечным обтеканием теплопередающей трубки [1].

Эксперименты, проведенные на модели с продольным обтеканием теплопередающей трубки, показали удовлетворительное согласие опытных значений коэффициентов теплообмена со стороны свинца с расчетными значениями, полученными по известным эмпирическим корреляциям. Для корректного переноса экспериментальных данных по теплообмену к воде, полученных при продольном течении теплоносителя (экспериментальная модель), на случай поперечного обтекания витых теплопередающих трубок теплоносителем (натурный ПГ) необходимо правильно считать теплоотдачу от жидкого металла при поперечном обтекании пучка витых труб. Однако, как показали эксперименты [1], а позднее и эксперименты [2], проведенные с поперечным омыванием тяжелым металлом пучка труб, опытные значения коэффициентов теплообмена существенно отличаются от существующих расчетных рекомендаций.

Принципиальная программа исследований на рассматриваемой модели парогенератора направлена на изучение теплообмена теплогидравлической устойчивости парогенерирующих труб и определение выходных параметров пара, подтверждающих (или опровергающих) расчетные проектные показатели. Данные, полученные в процессе испытаний на этой модели парогенератора, будут являться консервативными для нового парогенератора в части теплообмена в закритической зоне, термодинамической неравновесности пароводяного потока.

ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ МОДЕЛИ

Исследование работы трехтрубной секции (двухмодульной) модели парогенератора РУ БРЕСТ-ОД-300 проводилось в ГНЦ РФ-ФЭИ на стенде СПРУТ (стенд для проведения работ по универсальной тематике), который состоит из двух контуров: контура свинца и контура воды высокого давления, технологическая схема которого представлена в [1], а подробное описание основных элементов контуров (насосы, подогреватели, компенсаторы объема и др.) можно найти, например, в [3].

После завершения монтажа стенда контур воды был испытан давлением 32 МПа, теплопередающие трубки модулей парогенератора - 53 МПа.

Технологическая схема рабочего участка с моделью парогенератора представлена на рис. 1. На схеме указано расположение контурных термомпар, расходомеров, датчиков активности кислорода (ДАК), вентиля и некоторого другого оборудования [4].

Модель парогенератора состоит из двух идентичных трехтрубных секций (модулей). Разработчиком модели, ее электрического обогрева, тепловой изоляции и металлоконструкций, связывающих две трехтрубные модели, был ОКБ «ГИДРО-ПРЕСС».

Корпус модуля парогенератора выполнен из трубы диаметром 76×4,5 мм. Модель парогенератора по конструктивным характеристикам (высотные отметки, движение среды: опускное, винтовое подъемное) максимально приближена к конструкции парогенератора РУ БРЕСТ-ОД-300 (вариант 2000 г.). В качестве диаметра навивки трехтрубного пучка выбран средний диаметр навивки теплопередающих трубок натурального парогенератора РУ БРЕСТ-ОД-300, 1600 мм (вариант 2000 г.). Материал теплопередающих трубок соответствует материалу натуральных парогенерирующих труб, примененных в проекте РУ БРЕСТ-ОД-300. Наружный

диаметр теплопередающих труб – 17 мм, толщина стенки теплопередающей трубы – 3,0 мм, осевой шаг расположения труб – 25 мм. По длине витой трубы было установлено 15 дистанционирующих элементов, расположенных на расстоянии 750 мм друг от друга.

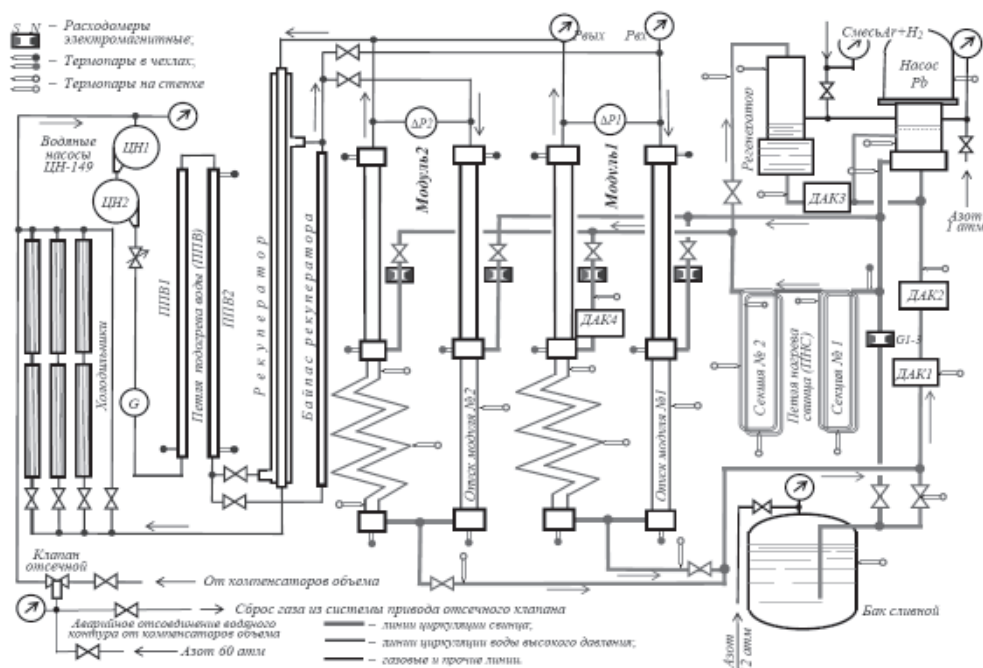


Рис. 1. Схема свинцового контура с моделью парогенератора [4]

Температура свинца и воды на входе и выходе из секции парогенератора измеряется с помощью термопар, помещенных в поток теплоносителей. Термопары также установлены в двух сечениях по ходу водяного тракта на трех теплопередающих трубках, одна из которых имеет гидравлическую нетождественность. Для измерения температуры корпуса ПГ секция оснащена термопарами, расположенными с переменным шагом. В одном сечении на расстоянии 19 м от входа по свинцу по периметру корпуса модели размещены четыре термопары для выявления возможных разверок температуры свинца. Термопары, установленные в потоке, изготовлены из термопарного хромель-алюмелевого кабеля диаметром 0,1 мм и заключены в капилляры диаметром 0,5 мм. Спаи термопар, приваренные к стенке, изготовлены из хромель-алюмелевого кабеля диаметром 0,5 мм.

ОПИСАНИЕ РАСЧЁТНОЙ МОДЕЛИ

На рисунке 2 представлена нодализационная схема одного из двух испытываемых модулей. Схема составлена для кода RELAP5/mod 3.2. Описание элементов приведено в табл. 1. Эта схема представляет собой упрощённую расчётную схему парогенератора для реактора БРЕСТ-ОД-300.

В расчётной схеме можно выделить три тракта: 1 – водяной тракт; 2 – тракт свинца опускного участка; 3 – тракт свинца подъёмного участка. Водяной тракт имеет входной объём под номером 001, выходной объём под номером 399. Тракт свинца на опускном участке имеет начальный объём 500 и конечный 513, на подъёмном участке соответственно объёмы 400 и 413. Водяной и свинцовый тракты обмениваются друг с другом теплом через тепловые структуры 1100–1102. Нод

18 водяного тракта не связан со свинцовым трактом, так как моделирует небольшой участок стенда, расположенный между сливами потоков свинца с опускного и подъёмного участков.

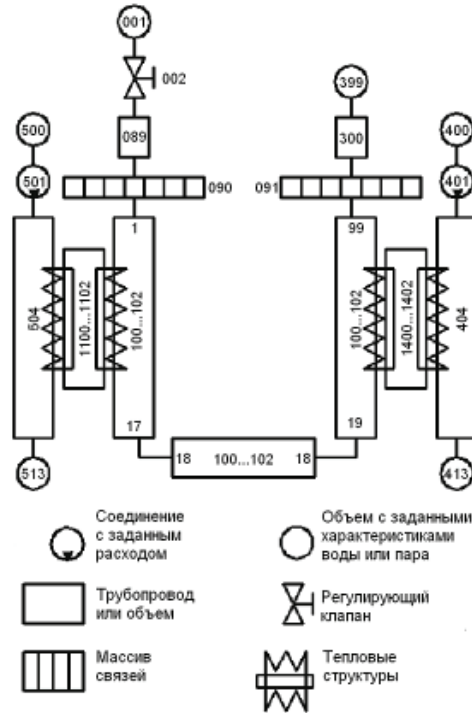


Рис. 2 . Расчётная схема

Таблица 1

Описание расчётной схемы

| Номер элемента | Элементы в коде RELAP5 | Описание |
|----------------------------|------------------------|--|
| 089 | pipe | Водяной коллектор |
| 100...102 | pipe | Три парогенерирующие трубы |
| 1100...1102 1400...1402 | heat structure | Тепловые связи гидравлических элементов (тепловые структуры) |
| 401, 501 | tmdpjun | Соединение с заданным расходом |
| 090 | mtpljun | Входная трубная доска |
| 091 | mtpljun | Выходная трубная доска |
| 400, 413 500, 513 | tmdpvol | Источник и сток для свинцового тракта соответственно на витом подъёмном участке и опускном |
| 001, 399 | tmdpvol | Источник воды и сток пара для водяного тракта |
| 300 | pipe | Паровой коллектор |
| 404 | pipe | Тракт свинца на подъёмном участке ПГ |
| 504 | pipe | Тракт свинца на опускном участке ПГ |
| 002 | valve (srvvlv) | Регулирующий клапан |

В коде RELAP5/mod 3.2 отсутствует возможность задать в качестве теплоносителя жидкий свинец. Так как от модели свинцового тракта необходимо только соответствие температур и коэффициента теплоотдачи, то было принято решение заменить в модели свинец на пар и скорректировать расходы пропорционально

отношению теплоёмкостей свинца и пара. Давление пара в «свинцовом» контуре было принято равным 2,738 МПа, при этом давления отклонения от среднего значения теплоёмкости пара в заданном диапазоне температур не превышают $\pm 0,25\%$. Так как теплоёмкость свинца равна 147,3 Дж/(кг·К), то для соответствия температуры модельного пара температуре свинца расход пара в расчётной модели должен быть меньше расхода свинца в 2238,7/147,3 $\approx 15,2$ раза. Для стационарных режимов соответствие объёма контура модели и реального объёма свинцового контура не важно. Коэффициент теплоотдачи рассчитывался для каждого режима до начала моделирования и задавался в виде таблицы. Число Nu для свинца вычислялось по формуле [5]

$$Nu = 6 + 0,02 \cdot Re^{0,8}$$

При задании расходов свинца и, соответственно, расчёте коэффициентов теплоотдачи для номинального режима были приняты следующие условия:

- массовая скорость воды соответствует массовой скорости теплоносителя на витом участке в разрабатываемом парогенераторе для реактора БРЕСТ-ОД-300;
- наличие недогрева воды до температуры насыщения при выходе из опускающего участка при различных расходах воды;
- температура свинца, обогревающего опускающий участок, на входе равна 420°C;
- температура свинца, обогревающего подъёмный участок, на входе равна 540°C.

В результате расходы свинца в номинальном режиме были приняты равными $\sim 0,7$ кг/с на опускающем участке, что соответствует расходу пара 0,046 кг/с в расчётной модели, и $\sim 10,3$ кг/с на подъёмном участке, соответственно, расход пара в расчётной модели 0,6776 кг/с.

ИСПЫТАНИЯ СЕКЦИИ МОДЕЛИ ПАРОГЕНЕРАТОРА

Экспериментальное исследование работы трехтрубного модуля парогенератора было направлено на подтверждение проектных характеристик в различных режимах работы, создание банка результатов экспериментов для дальнейшей верификации расчетных кодов, описывающих теплогидравлические процессы, происходящие в парогенерирующей установке.

Перед проведением испытания модуля при номинальных параметрах были проведены пусконаладочные работы, которые включали в себя отладку и проверку работоспособности различных узлов и аппаратуры установки, тарировку термомпар и определение тепловых потерь.

Методика проведения экспериментов была следующей. Проводился разогрев сливного бака, в котором помещен свинец, и свинцового контура с помощью нихромовых нагревателей до температуры 450–500°C. При заданном давлении в водяном контуре (18 или 25 МПа) с помощью вентиля тонкой регулировки устанавливали заданный расход воды через модуль циркуляционным насосом. С помощью регулируемого электрического подогревателя устанавливали необходимую температуру воды на входе в модуль (340°C). Затем производилось заполнение модуля свинцом при контроле уровня свинца в насосе и регенераторе и устанавливался требуемый расход теплоносителя. В процессе заполнения контура был включен компенсационный электрообогрев корпуса. Устанавливали циркуляцию свинца через опускающую и подъемную части модуля парогенератора.

После этого постепенно плавным изменением мощности электрических подогревателей поднимали температуру свинца до заданного уровня: 420°C на входе в опускающую по тракту воды участок (стояк) и 540°C на входе в подъемный по тракту воды участок (змеевик). При достижении стационарного режима производилась запись показаний на жесткий диск компьютера.

При неизменных режимных параметрах по свинцовому теплоносителю, при постоянном давлении в контуре воды (~ 18 МПа) с неизменной ее температурой на входе в модуль витого парогенератора (340°С) исследовалось поведение этого парогенератора при разных расходах воды – 80, 100 и 120 % от номинального значения.

При всех тех же режимных параметрах, кроме давления, были проведены опыты при сверхкритическом давлении 25 МПа. В качестве примера на рис. 3 представлено распределение температуры корпуса трехтрубного модуля при давлении воды на входе около 18 МПа для проектного номинального режима.

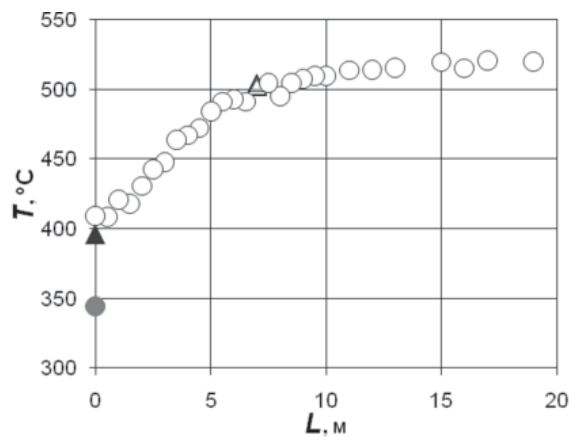


Рис. 3. Распределение температуры адиабатной стенки по длине модуля (расход воды – 100 % $G_{ном}$, $P = 18$ МПа): ▲ – вход (выход) свинца; ● – вход (выход) воды (пара); ○ – температура корпуса

На длине 7 м от входа воды в подъемный участок по корпусу модуля установлены четыре термпары под углом 90°. Как видно из рисунка, развертка температуры адиабатной стенки по периметру не наблюдается.

Температура пара на выходе из модуля во всех экспериментах всегда была выше 500°С. Изменение расхода воды на $\pm 20\%$ от номинального значения практически не сказывается на величине перегрева пара.

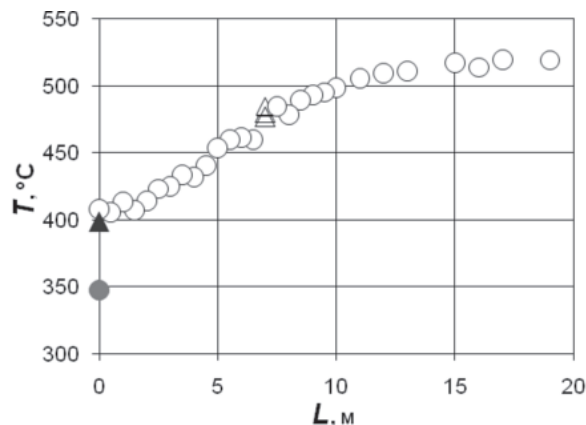


Рис. 4. Распределение температуры адиабатной стенки по длине модуля (расход воды – 100 % $G_{ном}$, $P = 25$ МПа, обозначения см. на рис. 3)

На рисунке 4 представлено распределение температуры корпуса модуля при сверхкритическом давлении воды 25 МПа для тех же режимных параметров, что и при докритическом давлении.

Из распределения температуры корпуса при $P = 18$ МПа видно, что большую часть подъемного участка занимает область перегрева пара с низкими коэффициентами теплообмена. При сверхкритическом давлении (рис. 4), корпус модуля и, следовательно, теплопередающие трубки находятся в менее нагруженном (по температуре) состоянии, чем при докритическом давлении. В экспериментах отмечалось, что при массовой скорости 120% от номинала температура корпуса модуля была ниже 500°C на участке протяженностью 17 м, в то время как при докритическом давлении протяженность этой зоны составляла около 11 м.

Если сравнивать эпюры температуры корпуса при докритическом давлении с эпюрами, полученными при аналогичных режимных параметрах, но при сверхкритическом давлении, можно отметить, что, несмотря на разницу давления почти в 7 МПа, температура пара на выходе из модели слабо зависит от расхода воды и составляет $500\text{--}510^{\circ}\text{C}$.

Никаких явлений, связанных с локальным ухудшением теплообмена при сверхкритических параметрах, обнаружено не было.

Поскольку во всех режимах на входе в секцию витого парогенератора подавалась не догретая до температуры насыщения вода, а на выходе из нее всегда был перегретый пар, отдельно опыты по сходимости теплового баланса не проводились. Для большинства экспериментов разброс по сходимости теплового баланса не превышал $\pm 5\%$.

Одним из условий безопасной работы парогенератора является отсутствие пульсаций расхода, давления и температуры воды (пара) во втором контуре. Поэтому при проведении испытаний уделялось большое внимание вопросам, связанным с возможным возникновением неустойчивости в контуре воды. Однако в проведенных экспериментах витого парогенератора ни в одном из режимов никаких пульсаций расхода воды на входе в модель ($G1$), давления воды на входе в модель (P_{in1}), а также температуры воды на входе ($T67$ и $T68$), температуры пара на выходе ($T69$ и $T70$) обнаружено не было. Это наглядно видно из приведенного ниже листинга записи режима с расходом воды 120% от номинального значения (таблица 2).

Таблица 2

Запись параметров воды при расходе 120 %

| Время | $T67, ^{\circ}\text{C}$ | $T68, ^{\circ}\text{C}$ | $T69, ^{\circ}\text{C}$ | $T70, ^{\circ}\text{C}$ | $G1, \text{кг/с}$ | $P_{in1}, \text{МПа}$ |
|----------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------|-----------------------|
| 11:39:27 | 340,5 | 340,7 | 507,8 | 507,6 | 0,14998 | 18,644 |
| 11:39:38 | 340,7 | 341,1 | 508,0 | 507,9 | 0,14951 | 18,832 |
| 11:39:48 | 341,4 | 341,6 | 508,4 | 508,3 | 0,14998 | 18,738 |
| 11:39:59 | 341,0 | 341,2 | 507,9 | 507,7 | 0,14998 | 18,644 |
| 11:40:10 | 341,3 | 341,4 | 508,1 | 508,0 | 0,14999 | 18,738 |
| 11:40:21 | 341,7 | 341,8 | 508,3 | 508,2 | 0,14857 | 18,832 |
| 11:40:32 | 342,2 | 342,3 | 508,7 | 508,5 | 0,14952 | 18,832 |
| 11:40:42 | 341,7 | 341,8 | 508,1 | 507,9 | 0,14857 | 18,832 |
| 11:40:53 | 342,1 | 342,2 | 508,3 | 508,2 | 0,14999 | 18,832 |
| 11:41:04 | 342,0 | 342,2 | 508,1 | 507,9 | 0,14999 | 18,738 |
| 11:41:15 | 342,0 | 342,1 | 508,0 | 507,9 | 0,14952 | 18,927 |

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЁТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Сопоставление результатов расчётной модели ПГ и опытов на стенде СПРУТ показало, что они сильно зависят от размера нодов в области появления кризиса теплоотдачи второго рода. Это проявляется в колебании расчётного расхода воды и пара в случае,

если паросодержание в ноде близко к границе резкого изменения значения коэффициента теплоотдачи. Для того чтобы избавиться от колебаний в расчётную модель были внесены изменения: длина и количество нодов парогенерирующих труб были подобраны такими, чтобы исключить из расчётной модели нод с граничным паросодержанием, при котором появляется кризис второго рода.

На рисунках 5 и 6 приведены расчётные температуры пара и свинца для режимов, аналогичных экспериментальным при давлении ~ 18 МПа (претестовые расчёты).

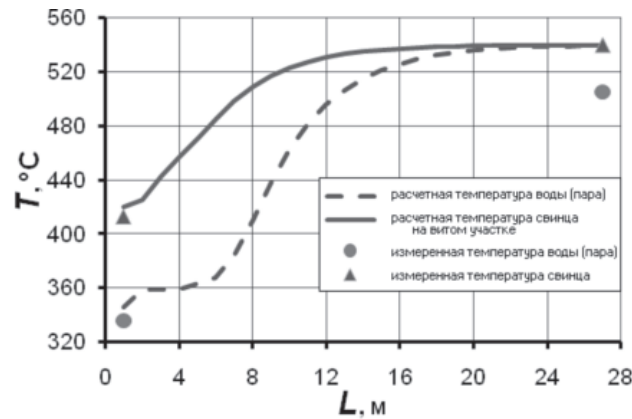


Рис. 5. Расчётное распределение температур воды (пара) и свинца (расход воды - 80% $G_{ном}$)

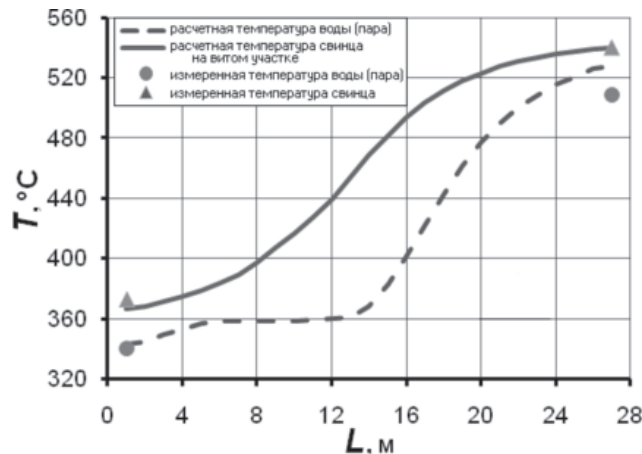


Рис. 6. Расчётное распределение температур воды (пара) и свинца (расход воды - 120% $G_{ном}$)

Как видно из рисунков, расчётные температуры свинца на выходе рабочего участка лежат близко к измеренным в эксперименте. Расчётные и экспериментальные температуры пара на выходе из рабочего участка при расходе 80 % от номинального отличаются на ~ 33°C, а при расходе 120% от номинального на ~ 18°C. Это составляет 19,5 и 10,8% от общего измеренного подогрева воды. Однако отличие между экспериментом и расчётом в приращении энтальпии на витом участке составляет ~ 3 % в каждом из режимов (табл. 3). Расчётные температуры воды на входе в рабочий участок выше экспериментальных приблизительно на 10 и 3,5°C соответственно для режима с 80% расхода от номинального и 120%. Отличие в расчётных и экспериментальных значениях энтальпии воды на входе в рабочий участок приводит к завышению расчётной температуры пара на ~ 24 и ~ 7,5°C соответственно.

Таким образом, большая часть погрешности в определении температуры пара легко устраняется при более тщательном согласовании исходных данных расчёта с экс-

периментальными данными. Итоговая погрешность позволяет говорить о том, что выбранная расчётная модель теплообмена между паром и свинцом адекватно описывает происходящие процессы, и после верификации на экспериментах с более низкими расходами воды может быть использована для расчётного моделирования парогенератора.

Таблица 3

Запись параметров воды при расходе 120 %

| Расход воды | Приращение энтальпии воды (пара) на витом участке, кДж/кг | | Отклонение расчетных данных от экспериментальных |
|----------------|---|------|--|
| | RELAP5 | Опыт | |
| 120% $G_{ном}$ | 1762 | 1711 | ~3 % |
| 80% $G_{ном}$ | 1790 | 1732 | ~3,3 % |

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Впервые проведены испытания трехтрубной модели витого парогенератора, обогреваемого свинцом при докритических и сверхкритических давлениях воды. Отработан режим запуска свинцового контура.

При испытаниях трехтрубной секции модели витого парогенератора как при докритическом давлении (18 МПа), так и при сверхкритическом температура пара на выходе из модели достигала 509°C и не опускалась ниже 503°C во всем диапазоне изменения расходов воды.

При расходе воды 80–120% от номинального не обнаружено пульсаций давления и расхода воды на входе в модель во всем диапазоне изменения давления.

Средствами кода RELAP5/mod 3.2 была создана расчётная модель теплообмена между жидким свинцом и водой (паром). С помощью претестовых расчётов были определены расходы свинца для опускного и подъемного участков парогенераторного модуля.

Экспериментальные данные, полученные на стенде СПРУТ, позволили провести отладку и предварительную верификацию модели. После проведения экспериментальных исследований с низкими расходами воды будет проведена верификация расчётной модели.

ЛИТЕРАТУРА

1. Экспериментальное исследование теплообмена в жидком металле в обоснование парогенератора установки РУ БРЕСТ-ОД-300 / С.Г. Калякин, Н.С. Грачев, В.А. Грабежная и др. // Труды III Российской конференции по теплообмену (РНКТ-3). – М.: МЭИ, 2002. – Т. 2. – С. 159-162.
2. Калякин С.Г., Грабежная В.А. Экспериментальное исследование теплообмена в жидком металле при поперечном обтекании пучка труб в обоснование парогенератора РУ БРЕСТ-ОД-300 // Труды IV Российской конференции по теплообмену (РНКТ-4) – М.: МЭИ, 2006. – Т. 2. – С. 128-131.
3. Грачев Н.С., Кириллов П.Л., Мартынов П.Н. Парогенераторы с прямым контактом между жидким металлом и водой / Тяжелые жидкометаллические теплоносители в ядерных технологиях: Тр. конф. В 2-х томах. – Обнинск: ГНЦ РФ-ФЭИ, 1999. – Т. 2. – С. 799-806.
4. Грабежная В.А., Михеев А.С., Штейн Ю.Ю. Испытания модели парогенератора БРЕСТ на стенде СПРУТ / Итоги научно-технической деятельности Института ядерных реакторов и теплофизики за 2011 год: Сб. статей. – Обнинск: ГНЦ РФ-ФЭИ, 2012. (В печати).
5. Кириллов П.Л., Юрьев Ю.С., Бобков В.П. Справочник по теплогидравлическим расчетам (ядерные реакторы, теплообменники, парогенераторы) / Под ред. П.Л. Кириллова. – 2-е изд. – М.: Энергоатомиздат, 1990.

Поступила в редакцию 10.11.2012

compensation is used in the even iterations and is absent in uneven iterations. The numerical tests demonstrate high efficiency of developed IFM schemes. Proposed schemes are implemented into several 3D codes of neutron kinetics and are used in the practical calculation by the fast neutron reactor code GVA and by the code WIMS-ВОЛНА for the VVER-1000 reactor life-time calculation.

УДК 629.76:629.78

On the Conversion of Thermal Energy of Nuclear Reactor into Directional Flow Energy of Electromagnetic Radiation in Nuclear-Photon Engine \ A.V. Gulevich, O.F. Kukharchuk, N.I. Loginov, A.S. Mikheev; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetica» (Communications of Hier Schools. Nuclear Power Engineering) – Obnibsk, 2013. 9 pages, 2 tables, 5 illustrations. – References, 4 titles.

Questions of direct conversion of thermal energy of the nuclear-photon engine into the energy of directional flow light radiation have been discussed. Possible design options of this converter differing in their irradiators geometrical forms have been highlighted, with comparative analysis of these options

УДК 621.039.534.6

Calculation of Mass Exchangers for Providing Specific Oxygen Regime in Heavy Liquid Metal Coolant \ A.Yu. Legkikh, P.N. Martynov, R.Sh. Askhadyllin; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetica» (Communications of Hier Schools. Nuclear Power Engineering) – Obnibsk, 2013. 12 pages, 1 tables, 5 illustrations. – References, 5 titles.

Technical implementation of solid-phase method for adjustment of oxygen content in lead alloys coolants, developed by IPPE, is realized by means of specially designed devices – mass exchangers which are a significant component of heavy liquid-metal coolant technology. On the design stage of mass exchanger it is necessary to calculate major features of mass exchanger. At this paper the calculation method of mass exchangers with solid-phase oxygen source (lead oxide) is described which allows to estimate the major features of apparatus and to predict it changes in depend on operating time.

УДК 532.526.4:621.039.533.34

The Modeling of Subheated Coolant Influence on Temperature Measurement at the Exit of Fuel Rod Assamly in WWER-1000 reactor \ Belozarov V.I., Varseev E.V., Kolesov V.V.; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetica» (Communications of Hier Schools. Nuclear Power Engineering) – Obnibsk, 2013. 9 pages, 1 tables, 3 illustrations. – References, 15 titles.

Errors in measurement of bulk temperature at the core exit of WWER-1000 reactor depends on the flow of relatively cold coolant through the control rod guide thimble tube in the fuel assemblies – so called “absorber” effect. The problem of temperature field modeling at the exit from WWER-1000 reactor core was solved in order to predict influence of such effect on thermocouple registrations along reactor radius at reactor measurements. The problem was solved in two stages. Energy release within the core elements of serial WWER-1000 reactor was calculated using the neutron transport code MCNP. The temperature field was calculated by using the OpenFOAM CFD package and heat release distribution, obtained at first stage of calculations. The results, obtained with developed methodology, are in good agreement with the reactor measurements results and researches of other authors. Obtained data allowed evaluating influence of the “absorber” effect at measurements in different position along core radius of WWER-1000 reactor.

УДК 621.039.546

Numerical and Experimental Investigation of the Model Steam Generator Reactor Facility BREST-OD-300 \ V.A. Grabezhnaya, A.S. Mikheev, Yu.Yu. Stein, A.A. Semchenkov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetica» (Communications of Hier Schools. Nuclear Power Engineering) – Obnibsk, 2013. 9 pages, 3 tables, 6 illustrations. – References, 5 titles.

The paper presents the results of testing the 3-tubes model of steam generator reactor facility BREST-OD-300, heated by liquid lead, at subcritical (18 MPa) and supercritical (25 MPa) pressure of the water at a flowrate – 80, 100 and 120% of the nominal value. The experimental data are compared with numerical simulation using the code RELAP5/mod 3.2.

УДК 621.039.51

Assessment of the Increasing in ⁹⁹Mo Production for Different WWR-c Reactor Core Compositions \ O.Yu. Kochnov, V.V. Kolesov, R.V. Fomin; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetica» (Communications of Hier Schools. Nuclear Power Engineering) – Obnibsk, 2013. 6 pages, 3 tables, 6 illustrations. –