

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ ОБРАТНОГО ПАРОГЕНЕРАТОРА РУ МБИР

Третьяков И.Т., Романова Н.В., Юхнов Б.М., Маслов Н.В.
(АО «НИКИЭТ», Москва, Россия)

Введение

Реакторная установка с многоцелевым быстрым исследовательским реактором (РУ МБИР) предназначена для проведения массовых реакторных испытаний инновационных материалов и макетов элементов активных зон для ядерно-энергетических систем IV поколения, включая реакторы на быстрых нейтронах с замыканием топливного цикла, а также тепловые реакторы малой и средней мощности [1].

1. Основные теплотехнические параметры контуров РУ МБИР

В РУ МБИР предусмотрено две независимых петли, каждая из которых содержит три контура теплоотвода и контур системы аварийного отвода тепла. Трехконтурная схема охлаждения является оптимальной для жидкометаллических реакторов на быстрых нейтронах, предотвращающей попадание питательной воды III контура в натрий I контура охлаждения, а также попадания радиоактивного натрия в пароводяной контур при разуплотнении трубок поверхности теплообмена парогенератора.

Параметры контуров теплоотвода РУ МБИР приведены в таблице.

Параметры контуров теплоотвода РУ МБИР

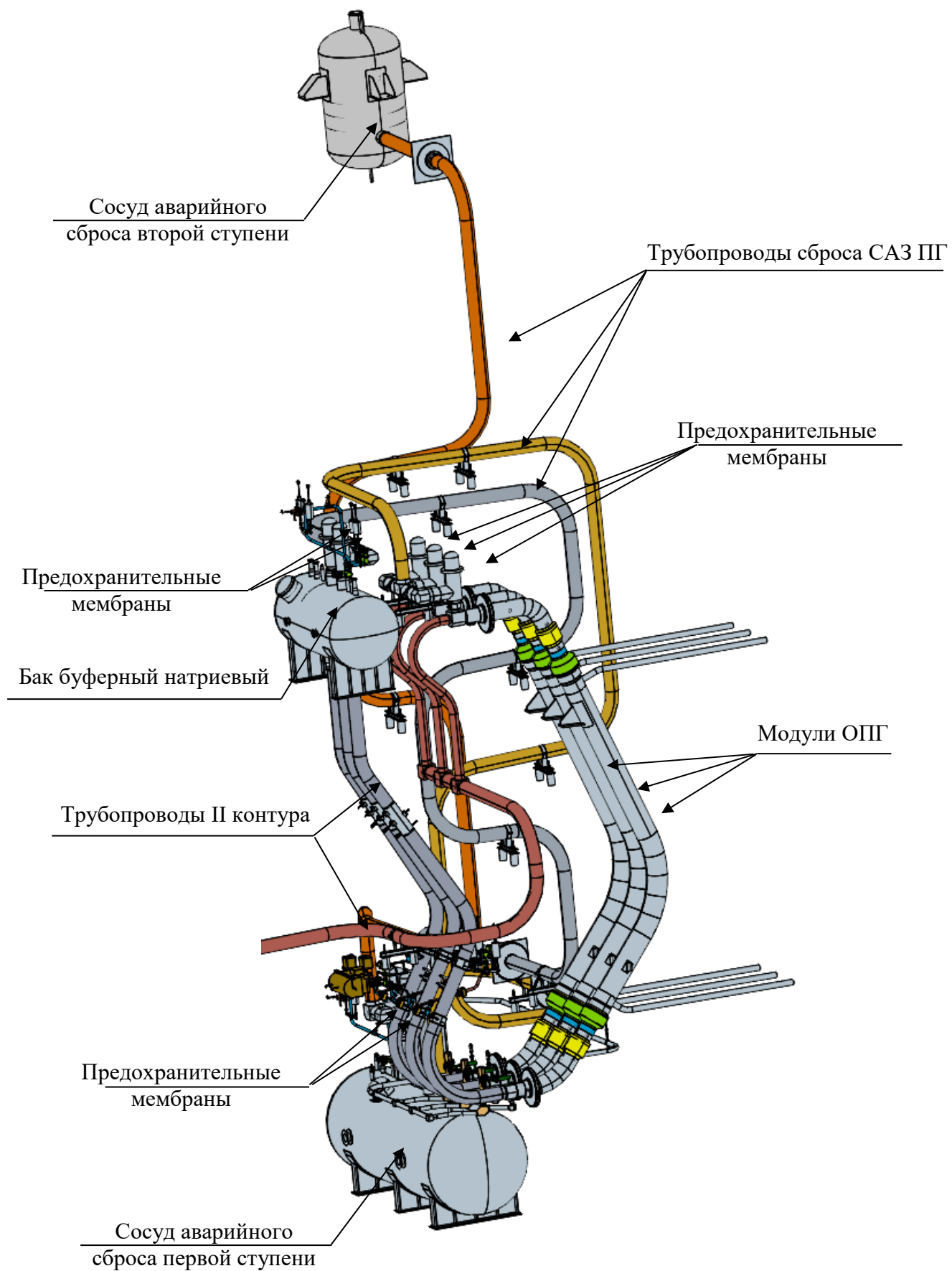
Параметр	Натрий I контура	Натрий II контура	Натрий контура САОТ	Рабочее тело III контура (перегретый пар)
Температура, °C	512	479	487	460
Расход (через одну петлю), кг/с	325	310	12,12	30,1
Давление (изб.), не более, МПа	0,7	0,5	0,2	8,8

В качестве парогенератора (ПГ) в РУ МБИР используется обратный тип парогенератора (ОПГ), аналогичный используемому в РУ БОР-60, в котором натрий находится внутри теплообменных трубок, а вода – в межтрубном пространстве.

Для защиты ОПГ и оборудования II контура РУ МБИР от превышения давления при межконтурной течи воды в натрий в парогенераторе разработана система автоматической защиты (САЗ ПГ).

Оборудование и трубопроводы САЗ ПГ размещены в помещениях парогенераторного блока ИЯУ МБИР.

В проекте предусмотрено по одной петле САЗ ПГ на каждую петлю теплоотвода II контура РУ МБИР (рисунок).



Петля САЗ ПГ

2. Состав и назначение системы САЗ ПГ

Функционально САЗ ПГ является комплексной системой и включает в себя технологическую часть с контрольно-измерительными приборами, а также приборы индикации межконтурной течи и систему контроля и управления.

САЗ ПГ состоит из следующих подсистем:

- подсистема защиты от превышения давления во II контуре;
- подсистема контроля межконтурных течей;
- подсистема дренирования II контура;
- подсистема приема и сепарации натрия и продуктов взаимодействия натрия с водой;
- подсистема отключения и дренирования по III контуру;
- подсистема заполнения пароводяной полости ОПГ азотом;
- подсистема диагностики элементов САЗ ПГ.

САЗ ПГ обеспечивает:

- индикацию течи воды в натрий при межконтурной неплотности парогенератора и быстрый вывод парогенератора из работы за время меньшее, чем время развития «малой» течи в «большую» и, тем самым, обеспечение минимально возможного распространения по II контуру продуктов взаимодействия воды с натрием;
- защиту парогенератора, оборудования и трубопроводов II контура от превышения допустимого давления при «большой» течи и соответственно, возможной разгерметизации по отношению к внешней среде, за счет быстрого отключения парогенератора по III контуру, дренирование рабочих сред из полостей аварийного парогенератора за минимально возможное время и консервацию его натриевого контура аргоном, а пароводяного контура – азотом;
- прием натрия и продуктов взаимодействия в сосуды аварийного сброса.

2.1. Подсистема защиты от превышения давления

Для защиты II контура от превышения давления сверх допустимого при межконтурной неплотности ОПГ предусмотрены устройства предохранительные мембранные, установленные на входе в каждый модуль ОПГ, а также на баке буферном натриевом и сосуде аварийного сброса первой ступени. При разрыве мембраны натрий и продукты взаимодействия из II контура по трубопроводу DN300 поступают в сосуд аварийного сброса первой ступени. В случае дальнейшего повышения давления происходит разрыв предохранительной мембраны, установленной на сосуде аварийного сброса первой ступени, и водородосодержащая газовая смесь аргона с парами натрия поступает по трубопроводу DN 300 в сосуд аварийного сброса второй ступени.

2.2. Подсистема контроля межконтурных течей

Подсистема контроля межконтурных течей предназначена для:

- обнаружения «малой» течи в парогенераторе и предотвращении ее развития в «большую» течь посредством надежной индикации течи воды в натрий при разуплотнении трубок модуля парогенератора;
- индикации концентрации водорода в натрии и инертном газе;
- определения дефектного модуля обратного парогенератора для его дальнейшего демонтажа и ремонта.

Благодаря использованию во II контуре РУ МБИР обратного парогенератора имеется больший, по сравнению с традиционным прямоточным секционно-модульным парогенератором, применяющимся на РУ БН-600, БН-800, СЕФР, CFR600 промежуток времени для обнаружения «малой» течи и предотвращения ее развития в аварийную ситуацию.

Подсистема контроля межконтурных течей состоит из трех независимых подсистем, установленных на каждой петле II контура: две петли контролируют концентрацию водорода в натрии, одна петля контролирует наличие водорода в газовой полости бака буферного натриевого. Также имеется отдельная петля, контролирующая наличие водорода в сосуде аварийного сброса первой ступени в случае срабатывания предохранительной мембраны, размещенной на баке буферном натриевом или на входе в модуль ОПГ.

Натриевые петли подсистемы контроля межконтурных течей расположены на выходе из каждого модуля ОПГ, байпасно основным трубопроводам II контура, и включают электрохимический датчик концентрации водорода в натрии и индуктивно-расходный измеритель-сигнализатор.

Газовые петли, размещенные на баке буферном натриевом и сосуде аварийного сброса первой ступени, реализованы в виде конвективных петель с электрохимическими датчиками концентрации водорода в инертном газе.

2.3. Подсистема дренирования II контура

Подсистема дренирования II контура предназначена для полного дренирования натрия из модулей ОПГ, оборудования и трубопроводов II контура в режимах вывода парогенератора из работы при межконтурной неплотности ОПГ.

Дренирование натрия из парогенератора производится после отключения циркуляционного насоса II контура в сосуд аварийного сброса первой ступени в результате открытия клапанов DN80 и DN100, установленных на дренажных трубопроводах, подсоединяемых к основным трубопроводам II контура DN300 на выходе из каждого модуля ОПГ.

2.4. Подсистема приема и сепарации натрия и продуктов взаимодействия натрия с водой

Подсистема приема и сепарации натрия и продуктов взаимодействия натрия с водой состоит из сосудов аварийного сброса первой и второй ступени совместно с трубопроводами обвязки и предназначена для приема натрия и продуктов взаимодействия при появлении «большой» течи при срабатывании предохранительной мембран, а также последующей сепарации жидких сред продуктов взаимодействия от газообразных.

Сброс продуктов взаимодействия натрия с водой происходит сначала в сосуд аварийного сброса первой ступени. В случае дальнейшего роста давления газовой среды срабатывает предохранительная мембрана, размещенная на сосуде аварийного сброса первой ступени, и газообразные продукты взаимодействия поступают в сосуд аварийного сброса второй ступени, где происходит их последующая сепарация.

2.5. Подсистема отключения и дренирования по III контуру

Подсистема отключения и дренирования по III контуру предназначена для отключения парогенератора по III контуру и полного дренирования воды и пара из модулей ОПГ и пароводяных трубопроводов обвязки ПГ до запорной арматуры в режимах вывода парогенератора из работы при межконтурной неплотности парогенератора.

Отключение парогенератора по III контуру производится путем отключения питательных насосов и закрытием быстродействующей отсечной арматуры на входе в ОПГ. Сброс пара из ОПГ происходит через быстродействующие сбросные устройства, обеспечивающие снижение давления. Дренаж воды из каждого модуля ОПГ осуществляется через быстродействующую дренажную арматуру.

2.6. Подсистема заполнения пароводяной полости ОПГ азотом

Подсистема заполнения пароводяной полости ОПГ азотом предназначена для предотвращения попадания натрия в пароводяную полость парогенератора.

При достижении значения давления в пароводяной полости менее 1,0 МПа автоматически подключается подсистема газового (азотного) заполнения III контура с функцией автоматического поддержания давления не менее 1,0 МПа в течение всего времени дренажа натрия из ОПГ.

2.7. Подсистема диагностики элементов САЗ ПГ

Подсистема диагностики элементов САЗ ПГ предназначена для контроля состояния и оценки готовности САЗ ПГ к работе по контролю таких параметров, как уровень, температура и давление в сосуде аварийного сброса первой ступени, температура и давление в сосуде аварийного сброса второй ступени, температура предохранительных мембран и включает подсистему впрыска газовых смесей для проверки функционирования датчиков подсистемы контроля межконтурных течей и обеспечения их бездемонтажной поверки без дренирования натрия из II контура.

Заключение

Разработанная для РУ МБИР САЗ ПГ обеспечивает надежную защиту II контура от превышения давления сверх допустимого в случае возникновения межконтурной неплотности ОПГ за счет автоматического отключения парогенератора с последующим дренированием рабочих сред II и III контура и продуктов их взаимодействия из полостей модулей ОПГ и приведением ОПГ в безопасное состояние за время меньшее, чем время развития «малой» течи в «большую».

Список литературы

1. Драгунов Ю.Г., Третьяков И.Т., Лопаткин А.В., Романова Н.В., Лукасевич И.Б. (ОАО «НИКИЭТ»). Многоцелевой быстрый исследовательский реактор (МБИР) – инновационный инструмент для развития ядерных энерготехнологий // Атомная энергия. 2012. Т. 113. Вып. 1. С. 25–28.