

РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НЕКОНДЕНСИРУЮЩИХСЯ ГАЗОВ НА РАБОТУ МОДЕЛИ ПАРОГЕНЕРАТОРА ВВЭР В КОНДЕНСАЦИОННОМ РЕЖИМЕ ПРИ ЗАПРОЕКТНОЙ АВАРИИ

А.А. Зайцев, Д.С. Калякин, А.А. Лукьянов, А.В. Морозов, Т.В. Попова,
О.В. Ремизов, О.В. Супотницкая, А.А. Цыганок

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



Представлены результаты расчетно-экспериментального исследования влияния неконденсирующихся газов на работу модели парогенератора ВВЭР в конденсационном режиме. Эксперименты выполнены на крупномасштабном стенде ГЕ2М-ПГ в условиях естественной циркуляции в первом и втором контурах стенда при давлении пара первого контура 0,36–0,38 МПа. Расчетное моделирование опытов проводилось с помощью кода КУПОЛ-М. В результате работы экспериментально определено влияние неконденсирующихся газов на конденсационную мощность модели парогенератора и показано, что расчетный код КУПОЛ-М удовлетворительно моделирует исследуемые процессы.

Ключевые слова: парогенератор ВВЭР, конденсация, неконденсирующиеся газы.
Key words: VVER steam generator, condensation, noncondensable gases.

ВВЕДЕНИЕ

В проекте «АЭС-2006» с реактором ВВЭР-1200 предусмотрено использование пассивных систем безопасности. К их числу относятся системы пассивного залива активной зоны из гидроемкостей второй ступени (ГЕ-2) и пассивного отвода тепла (СПОТ). Эти системы служат для снижения последствий широкого класса аварий, обеспечивая отвод тепла от активной зоны реактора, поддержание запаса теплоносителя в реакторе, целостность защитной оболочки и ограничение радиологических последствий аварий проектными пределами. При этом регламент работы данных систем определяется характером аварии [1].

Так, при отказе активных систем безопасности при плотном контуре реакторной установки (РУ) отвод тепла от топлива в активной зоне (АЗ) к окружающей среде осуществляется СПОТ практически неограниченное время. В процессе теплопередачи между теплоносителем первого контура в трубчатке и водой во вто-

© А.А. Зайцев, Д.С. Калякин, А.А. Лукьянов, А.В. Морозов, Т.В. Попова, О.В. Ремизов, О.В. Супотницкая, А.А. Цыганок, 2010

ром контуре парогенератора (ПГ) в нем генерируется пар. За счет естественной циркуляции в пароконденсатном тракте СПОТ этот пар поступает в воздушные теплообменники, установленные на наружной поверхности защитной оболочки в специальных воздуховодах. Пар конденсируется, отдавая энергию окружающему воздуху. Образовавшийся конденсат самотеком поступает обратно в межтрубное пространство ПГ.

При запроектной аварии, связанной с разгерметизацией первого контура РУ и отказом активной части САОЗ, предполагается совместная работа систем СПОТ и ГЕ-2. Потеря массы теплоносителя в виде пара и воды на линии насыщения, уходящей в отверстия истечения, компенсируется подачей воды из ГЕ-2 со ступенчато уменьшающимся расходом после снижения давления в реакторе до 1,6 МПа. После перевода системы СПОТ в режим расхолаживания (путем открытия шиберов на воздушном тракте теплообменников СПОТ) начинается охлаждение второго контура ПГ. При снижении давления во втором контуре ниже давления первого контура парогенераторы переходят в режим конденсации пара, поступающего в трубчатку ПГ из реактора. При этом мощность СПОТ определяется давлением в ПГ и температурой атмосферного воздуха. Образующийся конденсат по неаварийным петлям возвращается в реактор. Совместная работа ГЕ-2 и поступление конденсата из ПГ компенсируют потерю массы теплоносителя в реакторе и обеспечивают охлаждение активной зоны.

На работу парогенератора в конденсационном режиме отрицательное влияние может оказать присутствие в первом контуре реактора неконденсирующихся газов: азота, поступающего в контур при срабатывании гидроемкостей первой ступени, а также продуктов радиолиза воды и разложения гидразингидрата, растворенного в воде, поступающей из системы ГЕ-2. Накопление неконденсирующихся газов в трубчатке парогенератора может привести к ухудшению его конденсационной способности, вплоть до полного прекращения процесса конденсации.

Для экспериментального изучения влияния неконденсирующихся газов на работу парогенератора реактора ВВЭР в конденсационном режиме в ГНЦ РФ-ФЭИ был создан крупномасштабный стенд ГЕ2М-ПГ.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА

Стенд ГЕ2М-ПГ является крупномасштабной экспериментальной установкой, предназначенной для исследования работоспособности пассивных систем безопасности, входящих в проект реактора ВВЭР нового поколения [2]. В состав стенда входят модель парогенератора реактора ВВЭР, бак-аккумулятор пара объемом 16 м³, имитатор теплообменника СПОТ, охлаждаемый технической водой. Основное оборудование стенда связано между собой трубопроводами и оснащено запорно-отсечной арматурой. Высотные отметки размещения оборудования соответствуют проектным. Пар на экспериментальную установку подавался по специальному паропроводу от одного из отборов турбины ТЭЦ ГНЦ РФ-ФЭИ. На рисунке 1 показано размещение основного оборудования стенда ГЕ2М-ПГ.

Модель парогенератора стенда ГЕ2М-ПГ представляет собой теплообменный аппарат с двумя вертикальными коллекторами («горячим» и «холодным»). При разработке модели за базовый аппарат был принят существующий парогенератор ПГВ-1000 реактора ВВЭР.

Трубный пучок состоит из 248-ми горизонтальных змеевиковых труб, набранных в 62 ряда. Расстояние между крайними рядами трубок соответствует высоте трубного пучка парогенератора ПГВ-1000, что обеспечивает штатный режим конвекции воды в объеме межтрубного пространства. Каждый ряд состоит из четырех трубок диаметром 161,5 мм и длиной 10,2 м. Геометрия теплопередающих тру-

бок соответствует геометрии трубок натурного парогенератора. Для обеспечения стока конденсата из трубного пучка змеевики выполнены с уклоном от центра в сторону обоих коллекторов с высотным перепадом 20 мм. Материал трубок – нержавеющая сталь X18H10T. Площадь поверхности трубного пучка модели ПГ, использовавшегося на стенде, в 46 раз меньше площади теплообменных трубок натурного парогенератора.

На рисунке 2 приведена принципиальная технологическая схема стенда ГЕ2М-ПГ с обозначением вспомогательных систем, обеспечивающих проведение опытов. В их состав входят система поддержания давления, двухканальная система подачи неконденсирующихся газов, система сдувки парогазовой смеси и система сбора конденсата из горячего и холодного коллекторов модели парогенератора.

Система поддержания давления стенда ГЕ2М-ПГ (позиция 7 на рис. 2) предназначена для обеспечения постоянства теплофизических параметров при проведении экспериментов. Основным элементом данной системы является конденсатор-теплообменник, оснащенный запорной и регулирующей арматурой. В ходе опытов пар из бака БЗ конденсировался в теплообменнике-конденсаторе, а конденсат направлялся в дренаж. Регулируя расход пара можно как уменьшать, так и увеличивать давление на стенде. Использование данной системы позволяло поддерживать в ходе опытов давление с точностью $\pm 0,008$ МПа.

Для изучения влияния неконденсирующихся газов на конденсационную мощность модели ПГ на стенде ГЕ2М-ПГ реализована система подачи газа в первый контур стенда (позиция 6 на рис. 2). Система состояла из двух каналов, позволявших вводить в контур два газа (азот и гелий) как отдельно, так и в составе смеси. В состав каждого канала системы входят четыре стандартных газовых баллона объемом около 40 л каждый, один из них – баллон с газом высокого давления – подсоединен к остальным через редуктор. В ходе эксперимента происходит подача неконденсирующихся газов в первый контур стенда из трех баллонов, в которых поддерживается давление приблизительно на 0,3 МПа выше давления пара на стенде.

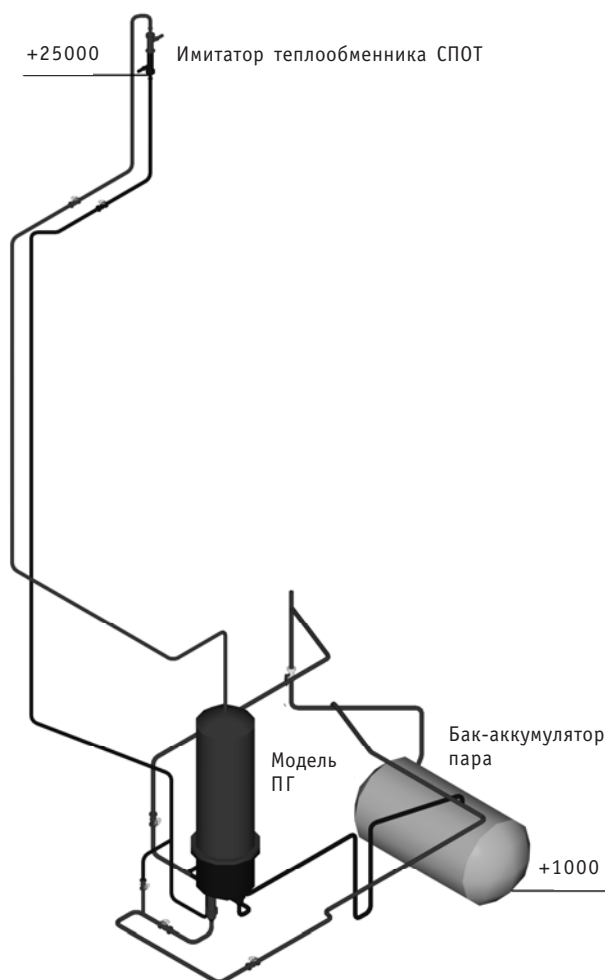


Рис. 1. Размещение основного оборудования на стенде ГЕ2М-ПГ

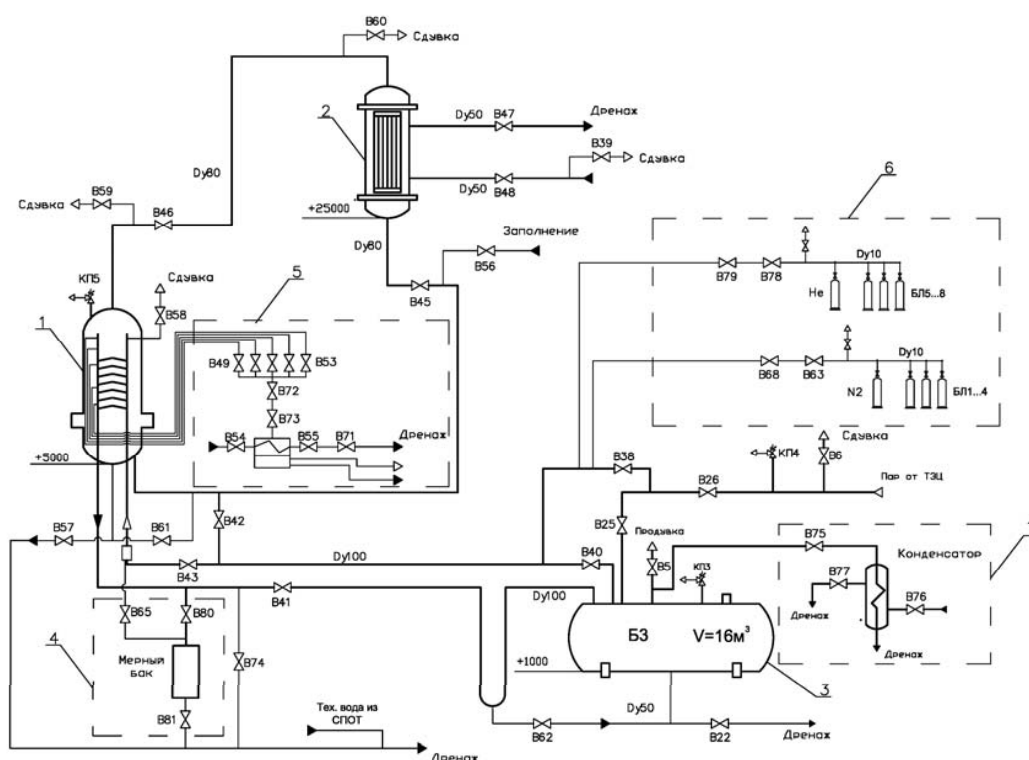


Рис. 2. Принципиальная технологическая схема стенда ГЕ2М-ПГ: 1- модель парогенератора; 2 – имитатор теплообменника СПОТ; 3 – бак-аккумулятор пара; 4 – система сбора конденсата; 5 – система сдувки парогазовой смеси; 6 – система подачи неконденсирующихся газов; 7 – система поддержания давления

По мере подачи газов происходит падение давления в баллонах, после снижения его величины на 0,08 МПа от начального уровня происходит подпитка газом из баллона высокого давления через редуктор. Регулировка расходов неконденсирующихся газов производится с помощью игольчатых микровентилей B63 и B78, установленных на импульсной линии.

Равномерность подачи газов обеспечивается способом ввода через перфорированные патрубки, установленные внутри паровой трубы, а также незначительным объемом неконденсирующихся газов по сравнению с объемом пара. Система позволяла поддерживать постоянство концентрации парогазовой смеси на входе в модель ПГ.

На стенде ГЕ2М-ПГ также предусмотрена система отвода парогазовой смеси из холодного коллектора ПГ, предназначенная для исследования влияния расхода сдувки на конденсационную мощность парогенератора (позиция 5 на рис. 2). В состав системы входят линия отбора парогазовой смеси, конденсатор, охлаждаемый технической водой, а также запорная арматура. Регулировка величины сдувки осуществлялась с помощью двух последовательных игольчатых микровентилей B72 и B73, установленных на импульсной линии перед входом парогазовой смеси в конденсатор проб. Импульсные линии и линии пробоотбора были теплоизолированы и обогревались с помощью охранных нагревателей, чтобы исключить конденсацию пара до подачи на регулируемую арматуру.

Входящая в состав стенда система сбора конденсата (позиция 4 на рис. 2) позволяла определять расход пара на входе в ПГ прямыми измерениями количества образующегося в трубчатке ПГ конденсата. В состав системы входит мерный бак,

оборудованный уровнемером, и арматура, позволяющая осуществлять сбор образующегося конденсата с «горячего» или «холодного» коллекторов. Мерный бак и подводящие линии были теплоизолированы для исключения появления «паразитного» объема конденсата, снижающего точность измерений.

Контрольно-измерительные приборы, установленные на стенде, позволяли регистрировать теплофизические параметры установки. Основной измеряемой величиной являлся расход пара в модель парогенератора, который регистрировался как вихревым расходомером, так и непосредственным измерением объема конденсата, стекающего из коллекторов и трубчатки в мерный бак. Кроме того, регистрировались давления и температуры по первому и второму контурам в нескольких точках, уровни жидкости в основных элементах стенда, а также параметры технической воды в имитаторе СПОТ (подогрев и расход). Модель парогенератора была оснащена более чем 100 кабельными термопарами $\varnothing 1,0$ мм, которыми контролировались параметры сред первого и второго контуров стенда как в трубчатке, так и в межтрубном пространстве.

Регистрацию давления по контурам стенда выполняли с помощью пьезорезисторных датчиков избыточного давления Метран-100-ДИ (класс точности 0,25). Измерение уровней воды на стенде производили гидростатическим методом с помощью датчиков разности давлений Метран-100-ДД (класс точности 0,25). Расход технической воды через теплообменник имитатора СПОТ контролировали с помощью измерения перепада давления на расходомерной шайбе прибором Метран-100-ДД. Измерение расхода пара на входе в модель ПГ осуществляли с помощью вихревого счетчика пара Метран-332 (основная погрешность 1,5%). Частота опроса измерительных каналов компьютерной системы сбора составляла 1 Гц.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ОПЫТОВ

Граничные и начальные условия экспериментов на стенде задавались на основе результатов расчетного моделирования процессов в реакторной установке. Анализ различных вариантов аварии с разрывом трубопроводов первого контура был выполнен по программе ТЕЧЬ-М-97 [3]. Исходя из результатов расчетов давление пара первого контура в экспериментах по исследованию влияния неконденсирующихся газов на работу модели ПГ в конденсационном режиме поддерживали в диапазоне 0,36–0,38 МПа.

Величина конденсационной мощности в экспериментах выбиралась исходя из экспериментальной зависимости мощности СПОТ от давления в парогенераторе, которая была получена на полномасштабной модели СПОТ в ОКБ «Гидропресс» [4].

Концентрация неконденсирующегося газа на входе в модель ПГ устанавливалась исходя из расчетных данных по газогенерации в первом контуре АЭС в случае запроектной аварии. Вместо водорода в экспериментах на стенде использовался гелий, подававшийся с той же мольной концентрацией. Концентрация неконденсирующихся газов в опытах соответствовала расчетному содержанию газов в первом контуре через один и восемь часов после начала запроектной аварии. Таким образом, в ходе экспериментов на вход модели ПГ подавалась парогазовая смесь со следующими концентрациями: $C_{N_2} = 2,095$ г N_2 /кг пара и $C_{He} = 0,047$ г He/кг пара (1 ч после начала аварии) и $C_{N_2} = 0,022$ г N_2 /кг пара и $C_{He} = 0,003$ г He/кг пара (восемь часов после начала аварии) [3].

Эксперименты на стенде проводились по следующей методике. В начале эксперимента подачей пара заданного давления осуществлялся последовательный прогрев бака-аккумулятора, модели ПГ, имитатора теплообменника СПОТ и трубопроводов первого и второго контуров стенда до установления стационарных пара-

метров среды. Определяющим показателем прогрева стенда служило равномерное тепловое поле по всему объему воды второго контура в парогенераторе и стабильность давлений в первом и втором контурах. Одновременно, с целью недопущения наличия в контурах паровоздушной смеси, открытием соответствующих продувочных вентилей обеспечивалась сдвуха воздуха из трубопроводов и основного оборудования стенда. Затем с помощью изменения расхода технической воды через имитатор СПОТ устанавливались необходимые значения давления второго контура. После установления стационарного режима в течение не менее 1200 с производилась запись параметров. Далее в соответствии со сценарием эксперимента на вход модели ПГ начиналась подача неконденсирующегося газа с заданной концентрацией.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

На первом этапе экспериментов была исследована работа модели парогенератора в конденсационном режиме в отсутствие неконденсирующихся газов. На рисунке 3 показаны результаты измерения расхода пара в опыте 126/1. Как видно из графика, в течение всего времени записи величина расхода пара оставалась стабильной и находилась на уровне $145 \text{ м}^3/\text{ч}$.

На рисунке 4 изображено изменение давления пара первого и второго контуров стенда в данном эксперименте. На протяжении всего опыта величины давлений оставались стабильными. Давление пара первого контура находилось на уровне $0,38 \text{ МПа}$. Средний перепад давления между контурами в эксперименте составил $0,04 \text{ МПа}$.

Эксперимент по исследованию влияния неконденсирующихся газов на работу парогенератора в конденсационном режиме проводился при давлении в первом контуре $P_1=0,37 \text{ МПа}$ и начальном расходе пара $Q_{\text{пара}}=65\text{--}70 \text{ м}^3/\text{ч}$. После стабилизации параметров в первом и втором контурах в объем пара вводились азот и гелий с формированием трехкомпонентной парогазовой смеси с заданными концентрациями. Было проведено два эксперимента с концентрациями, соответствующими количеству газа в паре первого контура реакторной установки через один и восемь часов после аварии.

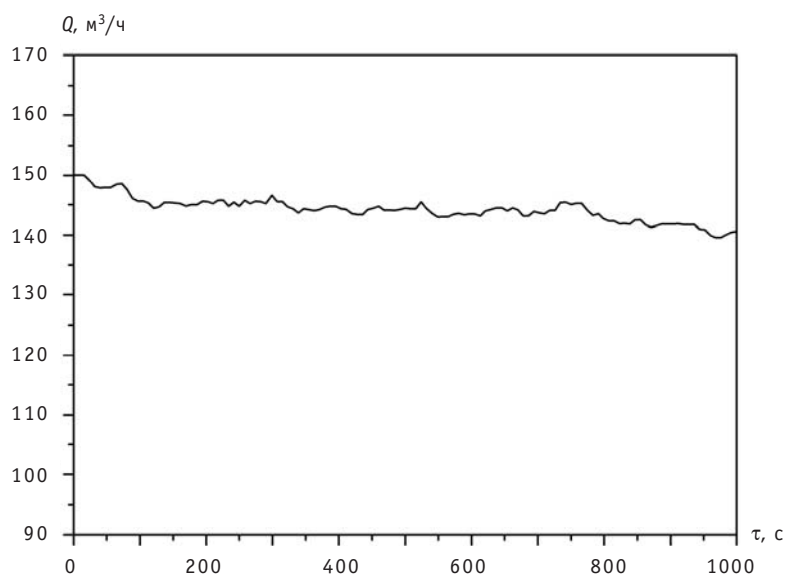


Рис. 3. Расход пара в модель ПГ в эксперименте 126/1: τ — время с момента установления стационарного режима

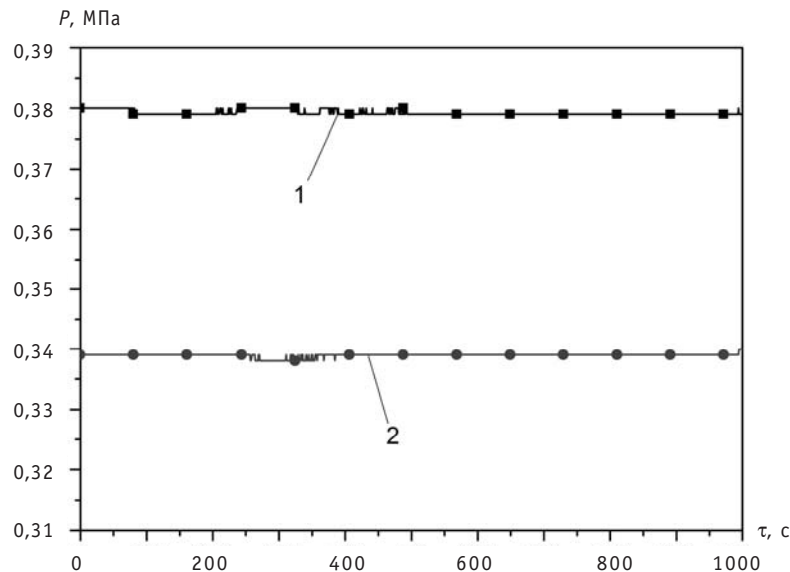


Рис. 4. Давление пара первого и второго контуров в эксперименте 126/1: $Q_{\text{пара}}=145 \text{ м}^3/\text{ч}$; 1 – давление пара первого контура; 2 – давление пара второго контура

На рисунке 5 показано изменение расхода пара в модели ПГ в экспериментах с подачей газов. Из рисунка видно значительное снижение расхода пара в ПГ в ходе опыта 135 с 70 до 20 $\text{м}^3/\text{ч}$, т.е. в 3,5 раза. Такое уменьшение мощности было вызвано накоплением неконденсирующихся газов в трубном пучке с соответственным уменьшением площади работающей теплопередающей поверхности, а также ухудшением характеристик теплообмена вследствие присутствия в паре неконденсирующихся газов.

В то же время расход пара в эксперименте 142, проведенном со значительно более низкими концентрациями неконденсирующихся газов ($C_{\text{N}_2} = 0,022 \text{ г N}_2/\text{кг}$ пара, $C_{\text{He}}=0,003 \text{ г He}/\text{кг}$ пара), практически не изменился.

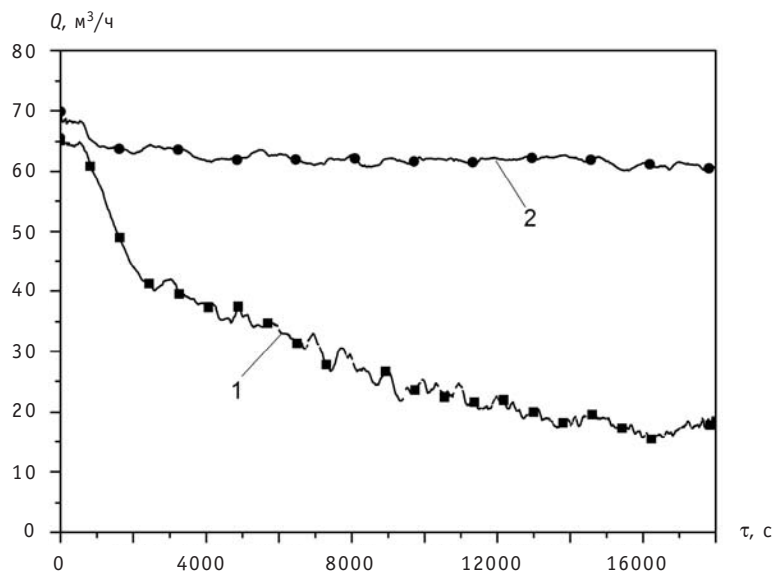


Рис. 5. Расход пара в модель ПГ в экспериментах с подачей газов: 1 – эксперимент 135 ($C_{\text{N}_2}=2,095 \text{ г N}_2/\text{кг}$ пара и $C_{\text{He}}=0,047 \text{ г He}/\text{кг}$ пара); 2 – эксперимент 142 ($C_{\text{N}_2}=0,022 \text{ г N}_2/\text{кг}$ пара, $C_{\text{He}}=0,003 \text{ г He}/\text{кг}$ пара)

Таким образом, в результате экспериментов было получено, что на начальном этапе аварии неконденсирующиеся газы оказывают значительное отрицательное влияние на работу парогенератора в конденсационном режиме, однако уже через восемь часов после аварии их влияние становится слабым.

Расчетное исследование влияния неконденсирующихся газов на работу модели ПГ ВВЭР в конденсационном режиме было проведено с помощью расчетного кода КУПОЛ-М.

РАСЧЕТНЫЙ КОД КУПОЛ-М

Код КУПОЛ-М предназначен для расчета термодинамических параметров среды в объеме контейнмента АЭС с ВВЭР при авариях с потерей теплоносителя [5]. В данной работе была предпринята попытка с помощью кода смоделировать процессы конденсации пара и парогазовой смеси в многорядном трубном пучке парогенератора, работающего в конденсационном режиме. Для расчетов использовалась версия кода 1.10, которая аттестована в надзорных органах РФ.

Математическая модель процессов тепломассообмена, используемая в коде, основана на системе обыкновенных дифференциальных уравнений сохранения движения, массы и энергии компонент парогазовой смеси для каждого контрольного объема (бокса). Термодинамические характеристики среды усредняются по объему бокса. Пар и парогазовая смесь переносятся через связи между боксами.

Модель теплообмена с тепловыми структурами включает в себя одномерное уравнение теплопроводности, гипотезу об аналогии процессов тепло- и массообмена для оценки поверхностной конденсации пара в присутствии неконденсирующихся газов и эмпирические соотношения для коэффициента теплоотдачи.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОДА КУПОЛ-М 1.10

Модель стенда ГЕ2М-ПГ, принятая в расчетах кодом КУПОЛ-М 1.10, включает в себя

- сливной бак-аккумулятор БЗ,
- модель парогенератора,
- тройник для подачи неконденсирующихся газов,
- трубопроводы.

Нодализационная схема стенда ГЕ2М-ПГ приведена на рис. 6. Она состоит из четырех боксов, четырех связей и одной тепловой структуры. Бокс 1 моделирует бак БЗ, бокс 2 – объем в трубчатке парогенератора, бокс 3 – тройник для подачи газов и бокс 4 – внешнюю среду с постоянными свойствами. Связи между боксами моделируют участки трубопроводов между контурами стенда. Тепловая структура в боксе 2 моделирует теплообменную поверхность трубчатки парогенератора площадью 127 м². Геометрические характеристики боксов и тепловой структуры, геометрические и гидравлические характеристики связей по газу соответствуют параметрам стенда. Связь между боксами 2 и 1, моделирующая холодную нитку первого контура стенда, и связь между боксами 1 и 4, моделирующая систему поддержания постоянного давления первого контура, организованы как связи с клапанами. Подача пара и неконденсирующихся газов в объем стенда моделируется кодом КУПОЛ-М как внешние источники массы и энергии. При моделировании экспериментов пар и неконденсирующиеся газы подаются в бокс 3.

В расчетах функционирование имитатора СПОТ на стенде учитывается через температуру воды в межтрубном пространстве, экспериментальное значение которой задается для внешней поверхности трубчатки парогенератора в качестве граничного условия.

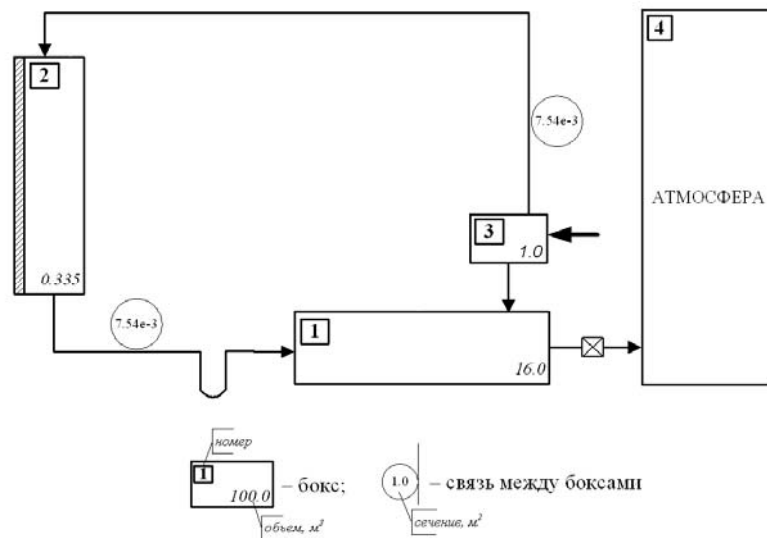


Рис. 6. Нодализация схема стенда GE2M-ПГ

На рисунках 7–9 показано сравнение результатов расчетов, проведенных по коду КУПОЛ-М, с экспериментальными данными. Расчетное моделирование было проведено в соответствии с процедурой «открытого» предтеста. Предтестовый характер расчетов определялся тем, что результаты экспериментальных измерений не были известны во время проведения расчетов, однако при расчетном моделировании были использованы реальные данные по исходному состоянию стенда и сценарию эксперимента для формирования набора входных данных кода по начальным и граничным условиям.

На рисунке 7 показано сравнение расчетных величин конденсационной мощности с экспериментальными данными, полученными в эксперименте 126/1 с

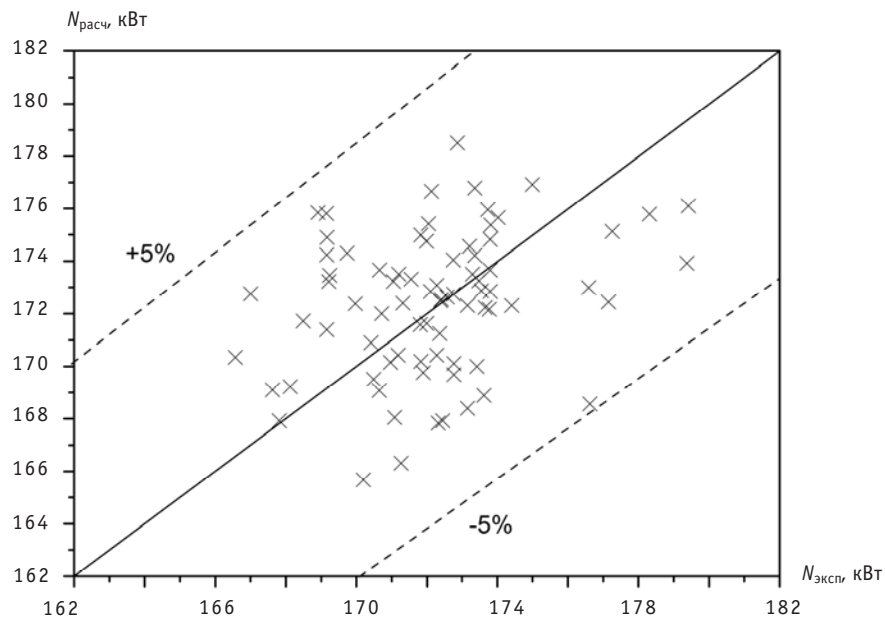


Рис. 7. Сравнение расчетной и экспериментальной величины конденсационной мощности модели ПГ в эксперименте 126/1

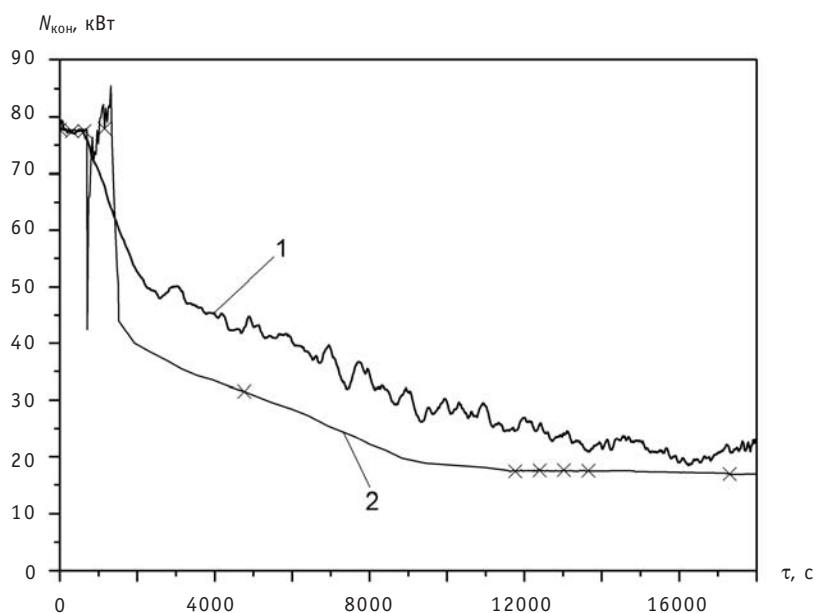


Рис. 8. Сравнение расчетной и экспериментальной величин конденсационной мощности в эксперименте 135: 1 – эксперимент; 2 – расчет

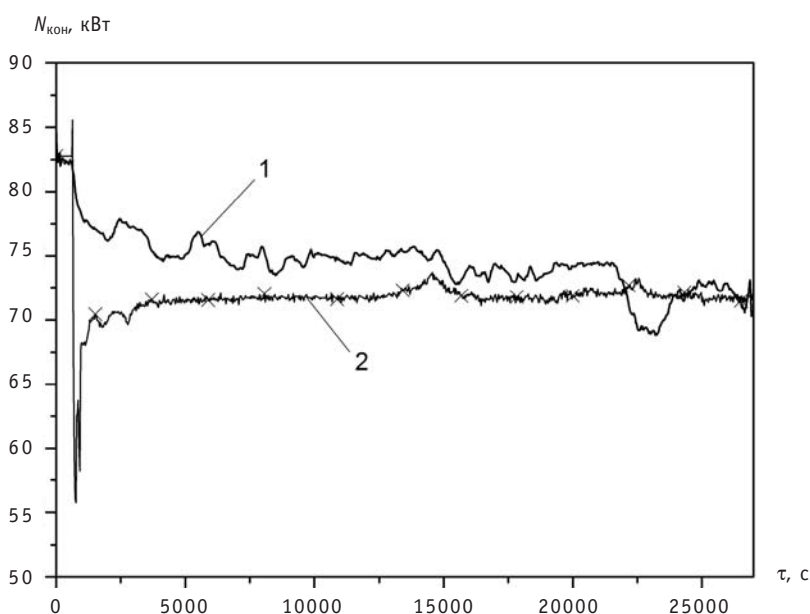


Рис. 9. Сравнение расчетной и экспериментальной величины конденсационной мощности в эксперименте 142: 1 – эксперимент; 2 – расчет

паром без неконденсирующихся газов. Как видно из графика, расхождение результатов не превышает 5%.

На рисунках 8 и 9 представлено сравнение расчетных и экспериментальных величин конденсационной мощности в динамических режимах (эксперименты 135 и 142) в случае подачи неконденсирующихся газов с различными концентрациями. Из рисунков видно удовлетворительное количественное и качественное совпадение результатов расчетов по коду КУПОЛ-М с экспериментальными данными.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В ГНЦ РФ-ФЗИ выполнено расчетно-экспериментальное исследование влияния неконденсирующихся газов на работу модели парогенератора ВВЭР в конденсационном режиме при запроектной аварии.

2. На стенде ГЕ2М-ПГ были выполнены эксперименты, которые позволили установить, что наличие неконденсирующегося газа в паре первого контура приводит к ухудшению теплообмена и значительному снижению конденсационной мощности ПГ на начальной стадии аварии.

3. Расчеты с помощью кода КУПОЛ-М показали, что математические модели, заложенные в код, позволяют моделировать процессы тепло- и массообмена при конденсации пара и парогазовой смеси в трубчатке модели парогенератора реактора ВВЭР при протекании запроектной аварии.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента Российской Федерации МК-94.2010.8.

Литература

1. Коршунов А.С., Таранов Г.С. Использование пассивных технологий обеспечения безопасности в проекте НВАЭС-2. Пути совершенствования пассивных технологий для исключения тяжелых аварий/VI Международная научно-техническая конференция «Безопасность, эффективность и экономика атомной энергетики» (М., 21-23 мая 2008 г.): Сб. трудов. – М.: Концерн «Росэнергоатом», 2008. – С. 979-990.

2. Калякин С.Г., Ремизов О.В., Таранов Г.С. и др. Экспериментальное исследование влияния неконденсирующихся газов на работу парогенератора ВВЭР в конденсационном режиме/Международный конгресс по достижениям в области АЭС ICAPP 08 (8-12 июня 2008 г.): Сб. трудов. 1 электр. опт. диск (CD-ROM). – Анахайм, Калифорния, США, 2008.

3. Беркович В.М., Копытов И.И., Таранов Г.С. и др. Особенности проекта АЭС нового поколения с реактором ВВЭР-1000 повышенной безопасности//Теплоэнергетика. – 2005. – № 1. – С. 9-15.

4. Григорьев М.М., Плассеев А.А., Подпорина Н.А. Мощностные характеристики системы пассивного отвода тепла АЭС с ВВЭР-1000 в зависимости от параметров среды в парогенераторе/VI Международный семинар по горизонтальным парогенераторам (Подольск, 22-24 марта 2004 г.): Сб. докладов. – Подольск: ОКБ «Гидропресс», 2004. 1 электр. опт. диск (CD-ROM).

5. Ефанов А.Д., Зайцев А.А., Лукьянов А.А. и др. Разработка контейментного кода КУПОЛ-М в обоснование систем локализации аварий на АЭС с ВВЭР/X Международная конференция по ядерной технике ICONE10 (14-18 апреля 2002 г.): Сб. трудов. 1 электр. опт. диск (CD-ROM). – Арлингтон, США, 2002.

Поступила в редакцию 9.09.2010

УДК 621.039.51

Enhancement TRU Proliferation Resistans through Gamma Buildup from Rare Earths \A.I. Dyachenko, V.V. Artisyuk, S.N. Filimonov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2010. – 9 pages, 3 tables, 5 illustrations. – References, 15 titles.

his paper deals with analysis of radiation barriers to reduce the attractiveness of transuranic materials from the view of nonproliferation. The barrier is formed by doping of rare earth gamma emitters. The selection of appropriate rare earth nuclides was the main focus of the present paper. The quantitative requirements for the presence of rare earth nuclide impurities to form barriers formulated, taking into account the existing criteria for evaluating security.

УДК 621.039.543.6

Comparative Analysis of Fission Materials for Uranium-Plutonium and Thorium-Uranium Cycles on Nonproliferation Criteria \V.V. Korobeynikov, B.B. Tikhomirov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2010. – 10 pages, 10 tables, 3 illustrations. – References, 15 titles.

The approaches to estimation of relative attractiveness of materials on the base of uranium-233 in thorium cycle with proliferation risk point of view are studied. Preliminary assessment of relative attractiveness for uranium-233 on the base approach developed for plutonium fuel was executed. It was shown that attractiveness depends from uranium-232 content and time of cooling very strong. Findings were compared with analogue characters of materials using in uranium-plutonium fuel cycle.

УДК 621.039.1

Prospectives of Nuclear Industry Development in Siberia. Ecology, Safety, Economics \V.I. Boyko, F.P. Koshelev, G.M. Pshakin, O.V. Selivanikova; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2010. – 10 pages, 3 tables. – References, 24 titles.

Rosatom projects for Krasnoyarsk, Tomsk and Irkutsk regions are briefly analyzed. Special attention is paid to construction of Seversk NPP in Tomsk region. Necessity and principles for construction of NPP are argument. Estimations of severe accident consequences alternative (using coal, natural gas or other type of fuel) electricity production plant same capacity (2300 MWe) were done.

УДК 621.039.534.63

Modelling of Mass Transfer of Corrosion Products in the Circuit of NPP with Sodium Coolant \V.V. Alexeev, A.S. Kondratiev; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2010. – 10 pages, 2 tables, 7 illustrations. – References, 9 titles.

The article describes the process model of mass transfer of impurities according to their chemical interactions in the system sodium – structural material – impurity. The data for the primary circuit of reactor BN-600, both for the nominal mode, and for the cases of a hypothetical accident with increasing facility parameters. The data obtained can be used to perform the safety analysis of facility.

УДК 621.039.58:536.423

Calculation and Experimental Study of Noncondensable Gases Influence on the Operation of VVER Steam Generator Model in Condensation Mode in the Event of the Beyond Design Basis Accident \A.A. Zaytsev, D.S. Kalyakin, A.A. Lukyanov, A.V. Morozov, T.V. Popova, O.V. Remizov, O.V. Supotnitskaya, A.A. Tsyganok; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2010. – 11 pages, 9 illustrations. – References, 5 titles.

The results of calculation and experimental study of the influence of noncondensable gases on the operation of VVER steam generator model in condensation mode are presented. The experiments have been performed at the GE2M-PG large-scale facility under conditions of natural circulation of the first and second circuits for the vapor pressure of the first circuit 0.36 – 0.38 MPa. Numerical simulation of the experiments was conducted using the computer code KUPOL-M. As a result of work the experimentally determined the effect of noncondensable gases on the condensation power of the steam generator model and found that the computer code KUPOL-M satisfactorily simulates the process under investigation.