

РАСЧЕТНЫЙ АНАЛИЗ ПРОЕКТНЫХ ТЕЧЕЙ В ПЕРВОМ КОНТУРЕ РЕАКТОРНОЙ УСТАНОВКИ ВВР-Ц МОДЕРНИЗИРОВАННОЙ КОМПОНОВКИ (ИБВ.10М)

В.В. Сергеев*, О.Ю. Кочнов, А.А. Казанцев*****

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

** НИФХИ им. Л.Я. Карпова, г. Обнинск

*** ЭНИМЦ «Моделирующие системы», г. Обнинск



Модернизация проекта исследовательского реактора ВВР-ц направлена на значительное повышение степени безопасности аппарата, в том числе при максимальных проектных авариях. Наиболее значимым для теплогидравлики изменением конструкции является установка гидрозатвора на сливном тракте непосредственно в баке реакторной установки (РУ) в сочетании с верхним размещением подвода теплоносителя к активной зоне. Расчеты выполнялись по международному теплогидравлическому контурному коду TRAC, предназначенному для анализа технической безопасности водоохлаждаемых энергетических ЯЭУ. Расчетная нодализационная схема верифицировалась на имеющихся данных переходных процессов до модернизации РУ. Исследовались последствия модернизации для широкого круга постулируемых для ООБ исходных событий. Представлены расчеты динамики расхолаживания установки на естественной циркуляции при течах в первом контуре, приводящих к резкому снижению уровня теплоносителя в баке реактора.

Ключевые слова: ВВР-ц модернизированной компоновки (ИБВ.10М); динамика расхолаживания активной зоны реактора; максимальная проектная авария; теплофизическое моделирование; течь в первом контуре; обоснование безопасности реактора; код TRAC.

Key words: VVR-C of modernized design (IBB 10M); transient reactor core cooling; maximal design accident; thermal physic simulation; leak in primary circuit; safety analysis of reactor; TRAC code.

В настоящее время актуальной задачей является повышение безопасности реакторных установок вследствие конструктивного введения процессов, которые за счет естественных причин, без вмешательства оператора обеспечивали бы надежный отвод остаточного тепловыделения после срабатывания аварийной защиты реактора. Надежность отвода избыточного тепла от активной зоны исследовательских РУ бассейнового типа в условиях потери уровня теплоносителя в баке РУ является одним из важнейших условий их технической безопасности. Значимость

проблема определяется наличием практически открытой границы (зеркало испарения) между первым контуром и помещениями реакторной установки. При этом возрастает значение целостности оболочек ТВС, зависящей от температурного режима в период после остановки реактора.

В представленном материале приводятся результаты расчетов последствий максимальных проектных аварий. Ранее в [1] используемая авторами нодализационная схема и расчетная модель были проверены на имеющихся опытных данных для аварийной ситуации, связанной с обесточиванием насосов. В результате решения обратной задачи на основании имеющихся измерений в модели были подобраны коэффициенты теплообмена, определяющие тепловые потери от первого контура в окружающие его помещения.

ОСОБЕННОСТИ МОДЕРНИЗИРОВАННОЙ КОМПОНОВКИ РУ ИВВ.10М, ВКЛЮЧАЯ ПЕРВЫЙ КОНТУР И ЕЕ АКТИВНУЮ ЗОНУ [1]

Применение специального алюминиевого (САВ) реакторного сплава для оболочек тепловыделяющих сборок (ТВС), имеющего предельно допустимую температуру 200°C.

Использование кольцевой конструкции твэла с максимальным соотношением поверхности к объему (двухстороннее охлаждение) и толщиной топливного слоя 1,1 мм.

Применение специального вида топливной композиции: двуокиси урана в алюминиевой матрице с высоким коэффициентом теплопроводности – до 150 Вт/(мК). Выбор данного материала сводит тепловую инерцию твэлов к минимуму. Максимальная температура топлива для стационарных и переходных режимов не превышает 100°C.

Конструктивная особенность охлаждения РУ – течение охлаждающего теплоносителя (вода под давлением 1,3 бар) происходит сверху вниз по активной зоне. Циркуляционные насосы первого контура (ЦН1) расположены ниже активной зоны на горячей стороне (до входа в теплообменники). Как следствие, в РУ ВВР-ц при остановке насоса ЦН1 в течение первой минуты происходит смена направления потока, переход опускного в подъемное течение и опрокидывание естественной циркуляции. Переход через нулевое значение расхода является первой «критической» точкой (с точки зрения безопасности).

Второй особенностью компоновки первого контура РУ ВВР-ц является размещение теплообменников на нижней отметке первого контура (также под активной зоной). В результате при полной остановке ЦН1 и работе насосов второго контура в номинальном режиме происходит полная остановка естественной общеконтурной циркуляции: провоцирующее движение горячего теплоносителя вверх по активной зоне (АкЗ) сводится на нет забросом холодной жидкости из теплообменников в отводящую магистраль к баку РУ.

Важнейшей системой пассивной теплогидравлической безопасности установки является наличие бассейна (бака РУ) с большим запасом холодного теплоносителя. В частности, в ВВР-ц объем жидкости в баке составляет около 20 м³, в то время как объем теплоносителя в проточной части активной зоны равен 0,1 м³. Соответственно, даже при прекращении общеконтурной естественной циркуляции проявляется второй механизм охлаждения – местная естественная циркуляция в баке РУ: по «горячим» ТВС – подъемное течение, по «холодным» ТВС, межкассетному пространству и каналам системы управления и защиты (СУЗ) – опускное. В результате такого естественного отвода остаточного тепла в бассейн интервал времени до закипания теплоносителя в активной зоне составляет более четырех часов.

В соответствии с требованиями безопасности РУ ВВР-ц имеет дублирование ЦН1 и использует независимый источник питания одного насоса из пяти, установленных параллельно, при эксплуатации на номинальном режиме. Для резервного питания используется аккумуляторная подстанция.

К дополнительным системам относится система принудительной вентиляции шахты РУ и помещений первого контура, способная обеспечить съем тепла до 100 кВт, а также система подпитки бака РУ и частичного залива активной зоны (система СПОТ).

НОВЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ, УЛУЧШАЮЩИЕ ПАССИВНУЮ БЕЗОПАСНОСТЬ РУ ВВР-Ц (ИВВ.10М)

Установлен гидрозатвор (рис. 1) внутри бака РУ на трубопроводе слива теплоносителя из активной зоны с коленом выше АкЗ, в результате

- исключено снижения уровня теплоносителя (оголение ТВС) до верхней отметки активной зоны при любой течи в первом контуре (за пределами бака РУ);
- обеспечено необходимое время для запуска душирующего устройства (залива зоны сверху) системы пассивного отвода тепла (СПОТ) при большой течи в баке РУ.

Входной подающий коллектор в баке РУ расположен выше АкЗ для исключения снижения уровня теплоносителя до ее верхней отметки при любой течи в первом контуре.

Модернизирована компоновка системы аварийной подпитки бака РУ и частичного залива активной зоны (СПОТ).

Назначение системы:

- исключение снижения уровня теплоносителя до верхней отметки ТВС при малой течи в нижней части бака РУ;
- исключение полного оголения ТВС при большой течи в баке в течение определенного времени за счет принудительного залива зоны душирующим устройством СПОТ;
- дополнительный залив бака РУ при большой течи в первом контуре до уровня перелива в гидрозатворе;
- конденсация части пара в баке при частичном оголении ТВС и закипании при большой течи бака.

МАКСИМАЛЬНАЯ ПРОЕКТНАЯ АВАРИЯ

Для обоснования безопасности представлен расчетный анализ нескольких максимальных проектных аварий (МПА).

Течь или разрыв нагнетательного трубопровода на выходе теплоносителя из группы насосов первого контура. Можно выделить три разновидности течи по ее величине:

- *малая компенсируемая течь*, не приводящая к разрыву общеконтурной циркуляции теплоносителя, без снижения уровня в баке ниже отметки входного коллектора и компенсируемая подпиткой от системы СПОТ;
- *малая течь*, приводящая к снижению уровня ниже входного коллектора до отметки перелива в выходном гидрозатворе (отметка перелива соответствует высоте 3,85 м от дна бака, отметка верхнего среза активной зоны 2,3 м), при этом над зоной остается холодный теплоноситель объемом около 6 м³;
- *большая течь* – гильотинный разрыв нагнетательного трубопровода диаметром 330 мм при смещении краев разрыва. В результате данной аварии при остановке ЦН1 происходит *снижение уровня ниже отметки перелива* до высоты на

0,9 м выше АкЗ. Над зоной сохраняется объем жидкости около 3 м³. Восстановление уровня до отметки перелива в гидрозатворе обеспечивается в дальнейшем системой аварийной подпитки бака (СПОТ). В дальнейшем происходит медленный прогрев жидкости до температуры насыщения 104 °С в верхней части бака, АкЗ, нижнем коллекторе с последующим испарением жидкости в верхней части бака в течение около 60-ти часов (балансная оценка).

Течь на нижней отметке бака РУ по одному из сварных швов на отметке ниже активной зоны.

РАСЧЕТНАЯ СХЕМА ПЕРВОГО КОНТУРА РУ ВВР-Ц (ИВВ.10М) ДЛЯ АНАЛИЗА ПРОЦЕССОВ ПРИ МПА

Численные расчеты рассматриваемых аварий на РУ проводились по коду TRAC [2,3] в нестационарной постановке на основании расчетной схемы для первого и второго контуров, представленной на рис. 1 для модернизированной компоновки первого контура. В таблице 1 представлены параметры РУ.

В целом использовалась одномерная сетевая расчетная схема, за исключением бака реактора, который моделировался двумерным пористым телом. Проточная часть активной зоны представлена в виде системы параллельных одномерных каналов. Рассматриваются пять групп ТВС в соответствии с их расстановкой по радиусу зоны с учетом неравномерности тепловыделения по радиусу и высоте АкЗ. Отдельно моделировались одна ТВС максимальной мощности (во втором ряду), одна ТВС минимальной мощности (в пятом ряду), групповой канал для охлаждения СУЗ и групповой канал для учета межкассетных протечек.

Математическая модель кода TRAC основана на численном решении системы из шести нестационарных одномерных (сетевая часть модели) и трехмерных уравнений теплогидравлики (бак реактора) для двухфазной среды с неконденсируемым газом (вода-пар-воздух) в неравновесном неомогенном приближении.

Таблица 1

Интегральные параметры РУ ВВР-ц

Параметр	Значение
Эксплуатационная мощность, МВт	10–18
Предельный расход по первому контуру, м ³ /ч (кг/с)	1500 (417)
Рабочий диапазон температуры теплоносителя на входе в АкЗ, °С	48–58
Общее количество ТВС (пять рядов по радиусу), шт.	70
Номинальный перепад высотных отметок первого контура, м	10,7
Номинальный уровень теплоносителя в баке, м	5,3
Номинальное давление на верхней отметке АкЗ, бар	1,3
Температура насыщения на верхней отметке АкЗ, °С	107
Коэффициент неравномерности тепловыделения по радиусу АкЗ	1,4

БОЛЬШАЯ ТЕЧЬ В ПЕРВОМ КОНТУРЕ ЗА ПРЕДЕЛАМИ БАКА РУ

Наиболее опасная авария – это образование течи при гильотинном разрыве нагнетательного трубопровода с условным диаметром $D_u = 330$ мм на выходе из насоса ЦН1.

На основании выполненных расчетных исследований модифицированной конструкции реактора ВВР-ц в проектном аварийном режиме – разрыв нагнетательного трубопровода на напоре насосов можно сделать следующие выводы.

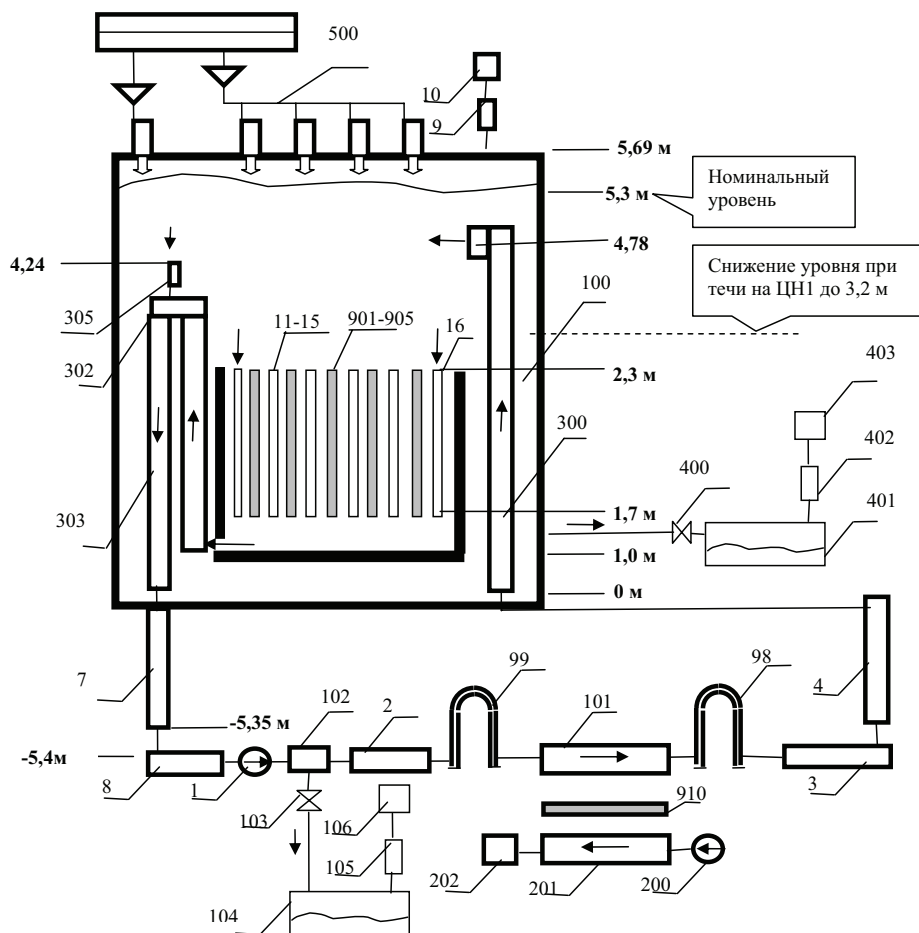


Рис. 1. Расчетная схема первого контура РУ для моделирования проектных аварий. Имитатор течи в контуре на напорном трубопроводе № 103-106. Имитатор течи на баке № 400-403. Обозначения к расчетной схеме

Позиция	Обозначение	Позиция	Обозначение
1	Группа ЦН первого контура	11-15	Проточная часть пяти групп ТВС (по радиусу)
102	Тройник	16	Тракт межкассетных протечек и СВЗ
103, 400	Клапан-имитатор течи	303, 302	U-образный гидрозатвор
104, 401	Бокс сбора дренажа первого контура	305	Канал воздухоудаления гидрозатвора
105, 402	Воздуховоды	7, 8	Подводящий тракт к ЦН
106, 403	Компенсатор давления (атмосфера)	10	Компенсатор давления бака (атмосфера)
2	Нагнетательный тракт	200	Группа ЦН второго контура
99, 98	Гидрозатворы теплообменников	201	Теплообменники (второй контур)
101	Теплообменники (первый контур)	202	Компенсатор давления по второму контуру
3, 4	Подводящий тракт к баку РУ	901-905	ТВС (пять групп по радиусу Ак3)
300	Подводящие две трубы в баке РУ	910	Трубы теплообменников
100	Бак РУ	500	Система СПОТ (душ и подпитка)

При МПА с разрывом трубопровода на напоре насоса первого контура (предельная мощность 18 МВт) происходит быстрый разрыв общеконтурной циркуляции. В течение 40 с происходит снижение уровня теплоносителя до 0,9 м над верхней отметкой активной зоны, что значительно ниже отметки перелива в выходном гидрозатворе (1,6 м над АкЗ). Снижение уровня ниже гидростатического связано с инерцией насосов первого контура и временными задержками систем управления. На данном этапе срабатывание системы подпитки бака СПОТ не компенсирует потери жидкости в баке вследствие невысокой производительности (максимальный расход течи составляет 700 кг/с, производительность СПОТ – 4 кг/с). Объем оставшейся жидкости в баке на момент остановки процесса истечения составляет над уровнем АкЗ – 3,4 м³, в сборке – 0,1 м³, в нижнем коллекторе – 0,4 м³.

На втором этапе аварии происходит медленный прогрев оставшейся жидкости в баке РУ за счет остаточного тепловыделения. Теплоотвод обеспечивается за счет собственной естественной циркуляции между группами каналов с различной мощностью. Интервал времени до начала закипания теплоносителя в проточной части ТВС составляет 53 минуты при отсутствии подпитки от системы СПОТ.

На втором этапе срабатывание системы СПОТ существенно снижает темп разогрева жидкости в баке РУ. Залив бака холодной жидкостью до отметки перелива в гидрозатворе приводит к увеличению объема над зоной до величины около 6м³. Интервал времени до начала закипания теплоносителя в проточной части ТВС составляет 2,6 часа при срабатывании системы СПОТ с расходом 4,2 кг/с и температурой жидкости в аварийных баках 20°С.

В течение всей аварии температура оболочки ТВС не превышает $T_w = 108^{\circ}\text{C}$, что связано с низким уровнем теплового потока и отсутствием осушения зоны.

На третьем этапе испарение жидкости из бака РУ вследствие кипения в АкЗ за счет остаточного тепловыделения и прекращения расхода из системы СПОТ интервал времени от начала аварии до начала оголения зоны составляет при несрабатывании системы СПОТ 26 часов, при срабатывании – 66 часов.

На четвертом этапе при повторном снижении уровня вследствие испарения части жидкости в баке возможен повторный запуск системы СПОТ.

Таким образом, модернизированный проект РУ ВВР-ц обеспечивает достаточный оперативный запас времени для устранения течи при разгерметизации в первом контуре.

Расчеты проектной аварии с течью на напоре насоса проводились для течи с проходным сечением 0,086 м² (проходное сечение нагнетательного трубопровода $D_u = 330$ мм). Номинальная мощность на момент начала аварии составляла 18 МВт. При этом расход охлаждающей воды по второму контуру в течение аварии полагался постоянным. Температура на входе в ТО по второму контуру составляла 30°С.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ БЕЗ ЗАПУСКА СПОТ

В таблице 2 представлен расчетный сценарий данной проектной аварийной ситуации. На рисунках 2–5 показана расчетная динамика изменения параметров во времени.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ С УЧЕТОМ ЗАПУСКА СПОТ

В таблице 3 представлен сценарий второго этапа аварии – разогрев жидкости в баке РУ с учетом кратковременной работы системы СПОТ. Предполагался запуск системы от оператора с задержкой 2 минуты от начала течи. Расчеты проводились по упрощенной расчетной схеме.

Таблица 2

Сценарий моделирования процесса аварии

Интервал, с	Мощность, МВт	G_1 , кг/с	G_2 , кг/с	Сечение течи, м ²
0 – 997	18	421	283	1,72e-5 Малая течь
997 – 1000	18	421	283	Раскрытие течи
1000 – 1007	Остаточная	Выбег ЦН-1	283	0,086
1007 – 2000	÷	ЕЦ	283	0,086

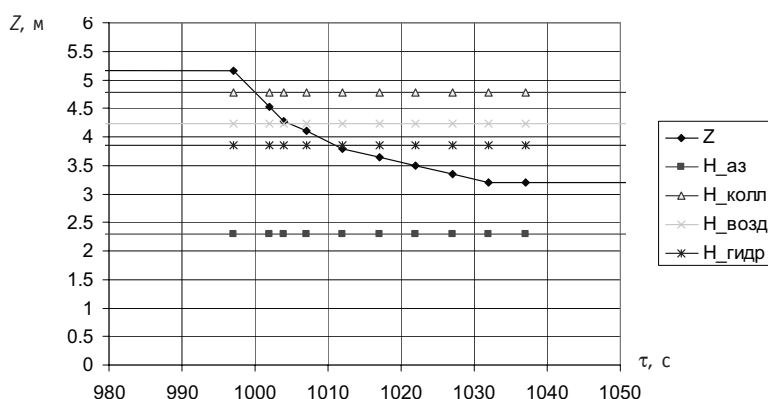


Рис. 2. Динамика уровня зеркала испарения при аварии с номинальной мощности 18 МВт и характерные высотные отметки: Z – уровень теплоносителя в баке; H_аз – верхняя отметка активной зоны; H_колл – верхняя отметка входного коллектора (по центру окон); H_возд – верхняя отметка воздушника; H_гидр – верхняя отметка гидрозатвора (по среднему сечению канала). Отметка 0 соответствует нижней отметке бака

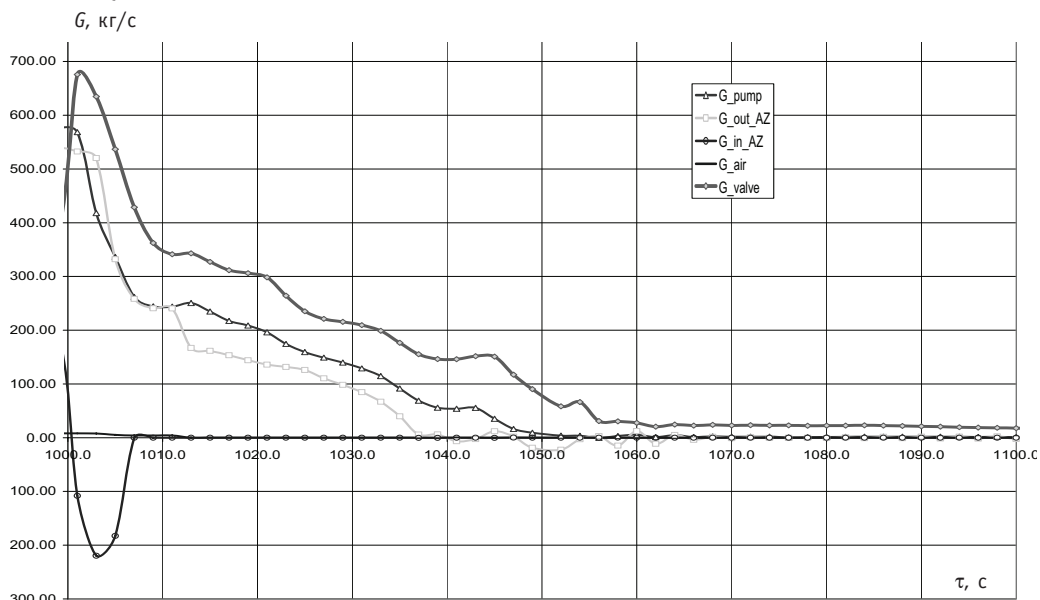


Рис. 3. Динамика расходов при аварии с номинальной мощности 18 МВт: G_pump – расход через группу насосов; G_out_AZ – расход в подъемной части гидрозатвора (в баке реактора, сливной канал); G_in_AZ – расход через окна входного коллектора в бак реактора; G_air – расход через воздушник гидрозатвора; G_valve – суммарный расход через клапан – имитатор течи

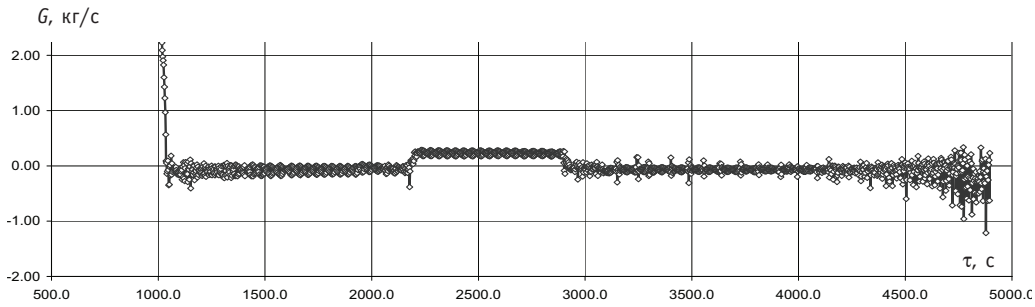


Рис. 4. Динамика расхода в канале максимальной мощности на ЕЦ. Положительные значения соответствуют номинальному направлению течения сверху вниз. Номинальный уровень расхода 6 кг/с на одну ТВС

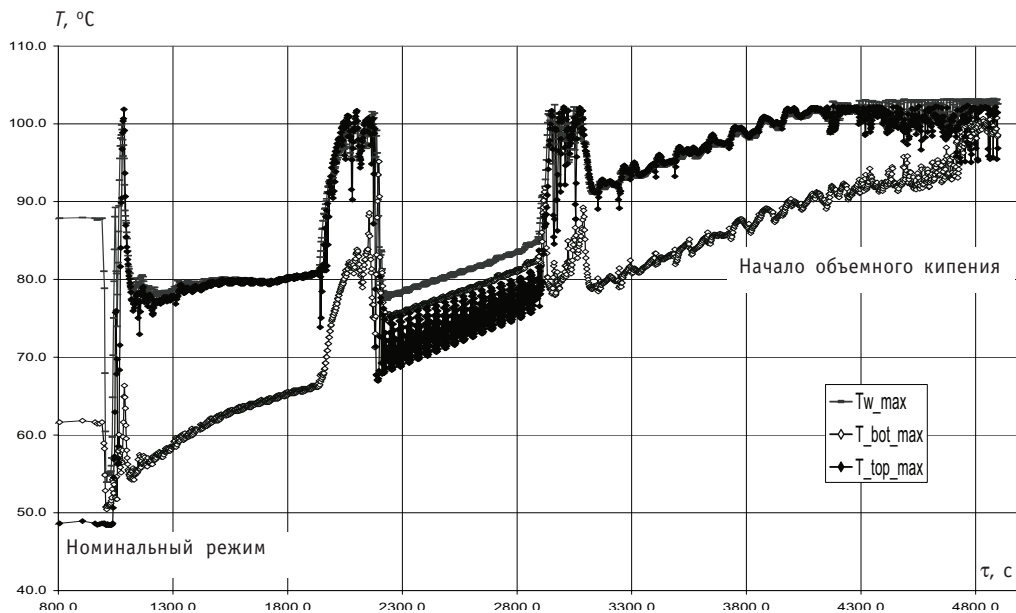


Рис. 5. Динамика температур в канале максимальной мощности на ЕЦ: T_{w_max} – температура оболочки ТВС в центре активной зоны; T_{bot_max} – температура теплоносителя на нижней отметке канала (выход для номинальных условий); T_{top_max} – температура теплоносителя на верхней отметке канала (вход для номинальных условий); $T_s = 103^\circ\text{C}$ – температура насыщения на входе в активную зону (с учетом частичного опорожнения бака при течи)

Результаты расчета показали, что при запуске системы СПОТ в течение времени заполнения бака температура жидкости в ТВС и верхней части бака несколько снижается. Таким образом, выделяемое тепло остаточного энерговыделения затрачивается на прогрев поступающей от СПОТ холодной жидкости. В дальнейшем,

Таблица 3

Сценарий моделирования процесса аварии

Событие	Момент времени, с
Начало течи	997
Открытие системы СПОТ (консервативная оценка)	1200
Закрытие системы СПОТ по достижении уровня перелива в гидрозатворе	1870

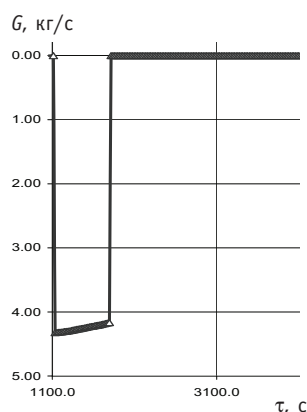


Рис. 6. Динамика расхода СПОТ. Работа системы при аварийном заливе бака реактора



Рис. 7. Динамика уровня теплоносителя в баке при заливе бака реактора системой СПОТ

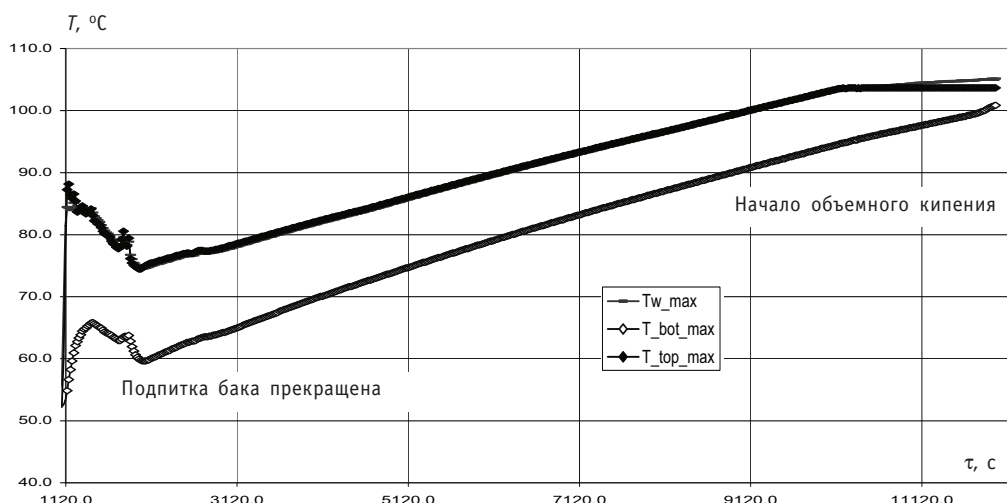


Рис. 8. Динамика температур на ЕЦ оболочки (для среднего сечения по высоте Ак3) и температур теплоносителя в верхнем и нижнем сечениях канала максимальной мощности (обозначения на рис. 5)

после закрытия клапана СПОТ (по достижении уровня перелива в гидрозатворе) начинается прогрев жидкости в баке.

На рисунках 6–8 приведены результаты расчетов разогрева теплоносителя от момента 1100 секунд. Результаты показывают, что момент времени начала объемного кипения в ТВС максимальной мощности соответствует 10180 с (9180 с от начала аварии).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Расчеты обосновывают принятые конструктивные изменения, приближающие конструкцию реактора к возросшим в течение периода его эксплуатации требованиям путем исправления принятых ранее неудачных конструктивных решений. Представленные расчетные результаты подтверждают принципы пассивной теплогидравлической безопасности модернизированного проекта РУ ВВР-ц (ИВВ.10М) бассейнового типа при течах из бака и при течах в первом контуре. В результате анализа динамики охлаждения с учетом и без учета включения систе-

мы СПОТ, осуществляющей разбрызгивание запасенной воды на корзину активной зоны, оказалось, что эта система обеспечивает существенный запас времени до оголения твэлов. В случае отсутствия СПОТ выкипание теплоносителя и полное оголение твэлов происходит после 26-ти часов, а при запуске СПОТ запас до оголения составляет 66 часов. Таким образом, наличие в конструкции душирующего устройства системы пассивного отвода тепла (СПОТ) для залива зоны сверху при большой течи в баке РУ является необходимым элементом, повышающим безопасность, и не должно демонтироваться при модернизации РУ.

Литература

1. *Кочнов О.Ю.* Расчетно-экспериментальный анализ аварийного расхолаживания ИС РУ ВВР-ц при обесточивании циркуляционных насосов / *О.Ю. Кочнов, В.В. Сергеев, А.А. Казанцев* // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2010. – № 3. – С. 77-89.
2. TRAC – PFI/Mod2. Theory manual. Los Alamos National Laboratory, 1993.
3. *Кузнецов Ю.Н.* Теплообмен в проблеме безопасности ядерных реакторов. – М.: Энергоатомиздат, 1989.

Поступила в редакцию 18.05.2011

УДК 621.039.51

Calculation Analysis of Maximal Design Leaks in Primary Circuit of VVR-c Reactor (IBB.10M) after Design Modernization \V.V. Sergeev, O.Uy. Kochnov, A. A. Kazantsev; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetica» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2011. – 10 pages, 3 tables, 8 illustrations. – References, 3 titles.

Design modernization of the research reactor VVR-C is directed on essential increase of reactor safety, including operation mode during maximal design accidents. The most significant modernization of design from thermal hydraulic point of view are: installation of hydraulic lock on the drain pipeline directly to tank of reactor facility in combination with the top position into the tank the inlet pipeline of the coolant in core. Calculations were performed based on TRAC code. International thermal hydraulic network code TRAC was designed for the safety analysis of water-cooled NPP. Nodalisation scheme of the primary circuit was verified based on existing experimental data from transient mode obtained before modernization of facility. Then consequences of design modernization for a wide range of postulated initial events recommended for SAR were investigated. Calculations of shut down cooling dynamics for reactor facility at natural circulation mode at leaks in the primary circuit, resulting in presented below the fast level decreasing of a coolant into the reactor tank.

УДК 621.039

On the Status of Nuclear Power Engineering as a Science \V.A. Kanke; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetica» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2011. – 5 pages. – References, 3 titles.

Nuclear power engineering is seen as a pragmatic science concepts which are values. Criticized the interpretation of the status of nuclear power engineering from the standpoint of physicalism and ideas about applied science.

УДК 621.039

Comparative Estimation of Radiation Dose for Aquatic Biota from Radiation Accidents in the Area of Fukushima and Chernobyl NPP \I.I. Kryshev, A.I. Kryshev; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetica» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2011. – 8 pages, 2 tables, 2 illustrations. – References, 25 titles.

Estimates of radiation doses are presented for marine biota in March-May 2011 in the coastal zone near Fukushima NPP and in the open sea. For most radiosensitive marine organisms (fish and mollusks) the radiation doses did not exceed the reference safe level of 10 mGy/day. At the distance 30 km from the NPP in the open sea the radiation doses for marine biota were much lower than those in the coastal zone near the NPP. Comparative estimates were obtained for radiation doses in marine organisms in the exclusion zones of Chernobyl NPP and Fukushima NPP.

УДК 661.879: 541.183

Extraction of Radionuclides from the Water with New High Temperature Resistant Aluminosilicate Adsorbents \A.S. Shilina, V.K. Milinchuk, O.A. Ananieva; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetica» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2011. – 8 pages, 4 illustrations. – References, 13 titles.

A simple environmentally friendly low-cost method for the synthesis of aluminosilicate adsorbents, occurring in one-stage process Determined by its static sorption capacity (mg/g) with respect to the cations $Fe^{3+} - 582 \pm 30$, $Ni^{2+} - 120 \pm 20$, $Pb^{2+} - 240 \pm 20$, $Cu^{2+} - 160 \pm 20$, $Sr^{2+} - 226 \pm 11$, $Cs^{+} - 2350 \pm 117$. Established that the sorption capacity of the adsorbent increases 2-3 times after the heat treatment. Aluminosilicate adsorbents have a high thermal, chemical and radiation stability.

УДК 621.039.534

Reactors with Heavy Liquid-Metal Coolants and Some Thermohydraulic Data for them \A.V. Zukov, J.A. Kuzina, V.I. Blozerov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetica» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2011. – 13 pages, 1 table, 9 illustrations. – References, 11 titles.

The problem of inherent advanced safety of reactors with heavy liquid-metal coolants is considered