

РАЗГЕРМЕТИЗАЦИЯ ОБОЛОЧКИ ТВЭЛА БЫСТРОГО РЕАКТОРА С ВЫХОДОМ ГАЗООБРАЗНЫХ ПРОДУКТОВ ДЕЛЕНИЯ В НАТРИЙ

А.В. Волков, И.А. Кузнецов

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



Описана вычислительная программа TWOCOM, моделирующая истечение газообразных продуктов деления из поврежденного твэла в тепловыделяющей сборке быстрого реактора. Кратко изложена математическая модель вычислительной программы, в основу которой положена полная система уравнений сохранения двухкомпонентного потока для жидкого натрия и газа. Приведены тестовые расчеты стационарных и нестационарных экспериментов по изучению выхода газа в натриевую петлю. Приведены некоторые результаты параметрического исследования разгерметизации твэла и выхода из него газа для тепловыделяющей сборки реактора БН-600.

ВВЕДЕНИЕ

Исходное событие «появление газовых пузырей в активной зоне и прохождение их через ТВС» содержится в примерном перечне исходных событий нарушений нормальной эксплуатации в нормативном документе ГАН РФ «Требования к содержанию отчета по обоснованию безопасности АЭС с реакторами на быстрых нейтронах». Разгерметизация оболочки твэла и выход из него газообразных продуктов деления является наиболее вероятной причиной появления газовых пузырей в активной зоне.

При обосновании безопасности реактора необходимо показать, что разгерметизация одного твэла не вызывает разгерметизацию следующих, т.е. разгерметизация одного твэла не приводит к массовой их разгерметизации в ТВС и к связанному с этим нарушению предела безопасной эксплуатации реактора. Вмешательство систем безопасности при этом не предусмотрено, хотя разгерметизация твэла обнаруживается существующими системами контроля.

При анализе последствий разгерметизации твэла важным является вопрос о критериях допустимости температурных отклонений в аварийных ТВС, о влиянии этих отклонений на разгерметизацию следующих элементов. ПБЯ устанавливают в качестве предела безопасной эксплуатации для реакторов на быстрых нейтронах температуру оболочек твэлов 800°C. В дальнейших оценках будем пользоваться этим ограничением, хотя можно уверенно утверждать, что оно является очень консервативным. Расчетные исследования, проведенные для реакторов БН-600, БН-800 показали, что даже разогрев твэлов до температуры кипения натрия в выходном сечении активной зоны, т.е. до 960°C, не приводит к их немедленной разгерметизации. Механизм потери герметичности оболочки твэла при повышении ее температуры в про-

© **А.В. Волков, И.А. Кузнецов, 2006**

грамме пока не описан, хотя в будущем, по-видимому, такое дополнение можно считать целесообразным.

Процесс истечения газа из твэла проходит по-разному в зависимости от площади образовавшейся трещины. Как правило, рассматриваются варианты [1] разгерметизации твэла с медленным (время выхода газа больше 0.25 с) и быстрым (время выхода меньше 0.25 с) выходом газа.

При микротрещинах выход газа происходит медленно с образованием небольшой струи, охватывающей только небольшую часть твэльного пучка. На первый взгляд, подобный режим истечения не является опасным. Однако при медленном выходе газа существенно увеличивается длительность пребывания твэлов в режиме их неполного охлаждения, что может вызвать их перегрев.

В случае большого разрыва оболочки в межтвэльное пространство выходит сразу значительное количество газа, что приводит к ухудшению теплосъема с поверхности большого количества твэлов, но пузырь газа под воздействием выталкивающей силы потока жидкости достаточно быстро перемещается вверх и выходит в верхнюю смешительную камеру реактора.

Одним из опасных вариантов развития повреждения следует считать выход газа из микротрещины тонкой высокоскоростной струей с образованием сухого пятна на поверхности соседнего с поврежденным твэла. При этом область воздействия струи ограничена пространством между разгерметизированным твэлом и твэлом, подвергнутым воздействию струи. Максимального роста температуры оболочек в процессе выхода газа можно ожидать в большинстве случаев у двух твэлов: разгерметизированного и соседнего с ним твэла, на который направлена струя газа. В расчетном исследовании максимально подробно моделируется пространство сборки именно у этих твэлов, как наиболее опасных с точки зрения максимально возможной температуры оболочек.

Для анализа нарушений нормальной эксплуатации, связанных с выходом газообразных продуктов деления из твэла в натрий межтвэльного пространства, предназначена описываемая ниже вычислительная программа TWOCOM. В основу программы положена модель негомогенного термически неравновесного двухфазного потока натрия. В настоящее время разработана только двумерная версия, что ограничивает применение программы анализом сравнительно медленного выхода газа из твэла или истечений из достаточно протяженных в азимутальном направлении трещин.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Из экспериментальных исследований [3] известно, что в твэле, подверженном воздействию газовой струи, выходящей из разгерметизированного твэла, наблюдается существенная азимутальная неравномерность температуры оболочки с максимумом в области сухого пятна. Из-за воздействия струи на смежный твэл образуется область со специфическим режимом течения, так называемая «spray» охлаждаемая область (рис.1а). В этой области струя газа оттесняет жидкость от стенки твэла, образуя на его поверхности сухое пятно. Как правило, моделируемую область условно делят на

- область струи газа, ограниченную углом падения струи и сухим пятном на смежном с поврежденным твэле;
- застойную область непосредственно над и под струей газа, содержащую газовые пузыри.

В области струи газа режим течения близок дисперсно-капельному, а в застойной зоне на твэлах имеются пленки жидкого натрия, поэтому течение двухкомпонентной смеси в большей степени соответствует дисперсно-кольцевому режиму.

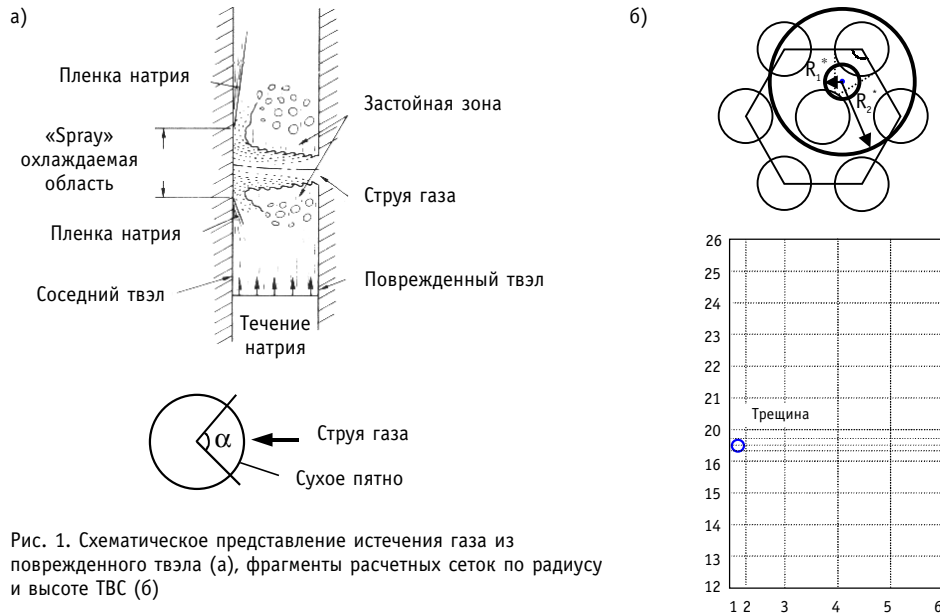


Рис. 1. Схематическое представление истечения газа из поврежденного твэла (а), фрагменты расчетных сеток по радиусу и высоте ТВС (б)

В рамках двумерной модели расчетная сетка строится таким образом, чтобы размер расчетной ячейки, в которой моделируется выход газа из поврежденного твэла, не превышал объема области струи газа (рис. 1б). По мере удаления от трещины размеры расчетных ячеек могут увеличиваться. Особенно это касается радиального разбиения сетки, поскольку после выхода из твэла газ движется преимущественно в вертикальном направлении.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ

В основу математической модели программы TWOCOM положено неомогенное описание термогидравлики двухкомпонентного потока. Система дифференциальных уравнений записана для двух компонент – жидкости и газа (соответствующие переменные обозначаются символами f и g).

Уравнения сохранения массы компонент записываются в виде

$$\frac{\partial(\varphi_f \rho_f)}{\partial t} + \nabla \cdot (\varphi_f \rho_f \mathbf{u}_f) = 0, \quad (1)$$

$$\frac{\partial(\varphi_g \rho_g)}{\partial t} + \nabla \cdot (\varphi_g \rho_g \mathbf{u}_g) = \Gamma, \quad (2)$$

где φ – объемная концентрация компоненты, ρ – плотность, t – время, \mathbf{u} – вектор скорости, Γ – интенсивность выхода газа из поврежденного твэла.

Объемные концентрации компонент удовлетворяют условию

$$\varphi_f + \varphi_g = 1. \quad (3)$$

Уравнения сохранения импульса для каждой из компонент имеют вид:

$$\frac{\partial(\varphi_f \rho_f \mathbf{u}_f)}{\partial t} + \nabla \cdot (\varphi_f \rho_f \mathbf{u}_f \mathbf{u}_f) = -\varphi_f \nabla p - \varphi_f \rho_f \mathbf{g} - F_{wf} - F_{if}, \quad (4)$$

$$\frac{\partial(\varphi_g \rho_g \mathbf{u}_g)}{\partial t} + \nabla \cdot (\varphi_g \rho_g \mathbf{u}_g \mathbf{u}_g) = -\varphi_g \nabla p - \varphi_g \rho_g \mathbf{g} - F_{wg} - F_{ig} + u_g \Gamma, \quad (5)$$

где p – давление, F_{wf} , F_{wg} – трение жидкости и газа на стенке канала, F_{if} , F_{ig} – трение жидкости и газа на межкомпонентной поверхности.

Условие баланса импульса на межкомпонентной поверхности имеет вид

$$F_{if} + F_{ig} = 0. \quad (6)$$

Уравнения сохранения энергии компонент

$$\frac{\partial(\varphi_f \rho_f e_f)}{\partial t} + \nabla \cdot (\varphi_f \rho_f e_f \mathbf{u}_f) = -p \left[\frac{\partial \varphi_f}{\partial t} + \nabla \cdot (\varphi_f \mathbf{u}_f) \right] + q_{wf} + q_{kf} + q_{gf}, \quad (7)$$

$$\frac{\partial(\varphi_g \rho_g e_g)}{\partial t} + \nabla \cdot (\varphi_g \rho_g e_g \mathbf{u}_g) = -p \left[\frac{\partial \varphi_g}{\partial t} + \nabla \cdot (\varphi_g \mathbf{u}_g) \right] + q_{wg} + q_{kg} - q_{gf} + G e_g^*, \quad (8)$$

где e_f , e_g – энтальпия жидкости и газа; e_g^* – энтальпия твэльного газа; q_{wf} , q_{wg} – поток энергии от стенки канала к жидкости и газу; q_{gf} – обмен энергией через межкомпонентную поверхность жидкости и газа; q_{kf} и q_{kg} – обмен энергией за счет теплопроводности каждой из компонент.

Источниковый член G в уравнениях (2), (5) определяется через расход газа из поврежденного твэла. Предполагалось, что выход газа из твэла происходит при изотермических условиях [4, 5].

Если не учитывать сжимаемость газа, расход определяется из соотношения

$$G_g = \left((p_g - p) \cdot \frac{\rho_g}{\zeta_0} \right)^{0.5}, \quad (9)$$

где $\zeta_0 = \lambda_0 / 2s^2$ – приведенный коэффициент сопротивления; p_g и p – давление газа внутри твэла и натрия в межтвэльном пространстве; λ_0 – коэффициент сопротивления струи газа из твэла в межтвэльное пространство; s – площадь проходного сечения отверстия.

С учетом сжимаемости газа при высоких давлениях $p_g > A$, где A – эмпирическая константа, если $p_g < A$ использовалось соотношение (9). Если $p_g > A$, расход определялся из адиабатического приближения [6] для случая докритического истечения газа

$$G_g = \mu s \sqrt{\frac{2k}{k-1} \cdot \rho_g p_g \left[\left(\frac{p}{p_g} \right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{p}{p_g} \right)^{\frac{k+1}{k}} \right]}, \quad (10)$$

где k – показатель адиабаты газа; μ – коэффициент расхода через отверстие [6].

При критическом истечении газа

$$G_g = \mu s \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{1}{k-1}} \sqrt{\frac{2k}{k+1} \cdot \rho_g p_g}. \quad (11)$$

Наибольшие проблемы возникают при определении теплоотдачи в области струи газа. Струя оттесняет от поверхности твэла жидкий натрий и в области пятна образуется специфический режим течения двухкомпонентного потока, характеризующийся существенным снижением коэффициента теплоотдачи от стенки канала к газожидкостной смеси. Как правило, коэффициент теплоотдачи к двухфазному потоку сравнивают с коэффициентом теплоотдачи в однофазной области для равного расхода натрия через сборку [2]. Экспериментальные исследования показывают, что коэффициент теплоотдачи зависит от величины, формы, местоположения отверстия, расхода газа из поврежденного твэла, шага расположения твэлов в сборке, расхода натрия и многих других параметров. В большинстве случаев величина коэффициента

варьируется в диапазоне 5–30% от однофазного. Кроме того, по мере ослабления струи газа режим течения в области пятна может меняться. Возрастает орошение поверхности твэла каплями натрия, что увеличивает коэффициент теплоотдачи.

При больших скоростях газа можно не учитывать орошение сухого пятна каплями натрия. Тогда коэффициент теплоотдачи можно определить с помощью Epstein корреляции [3]:

$$Nu = 0.778 Re^{0.5} Pr^{0.35}. \quad (12)$$

Здесь $Re = G_g D / \nu_s$, $Nu = h_{2p} D / \lambda$, где D – диаметр сухого пятна; ν – динамическая вязкость газа; λ – теплопроводность газа, h_{2p} – двухфазный коэффициент теплоотдачи.

Однако для большинства переходных процессов использование этой формулы приводит к чрезмерному занижению теплоотдачи. Поэтому в расчетах чаще пользуются менее консервативными оценками, которые привязаны к экспериментальным данным конкретного переходного процесса.

ПРИМЕРЫ ТЕСТОВЫХ РАСЧЕТОВ

Работоспособность программы TWOCOM проверялась на результатах обработки нескольких экспериментов, выполненных в исследовательском центре O-Arai в Японии, в которых моделировался выход газа из поврежденного твэла быстрого реактора в натриевой петле. Характеристики 37-стержневого электрообогреваемого пучка и контура циркуляции подбирались максимально приближенными к условиям реактора в Monju. Схема экспериментальной установки, геометрические размеры и расположение датчиков для измерения температуры, расхода, давления показаны на рис. 2. Более подробно экспериментальная установка описана в работе [2].

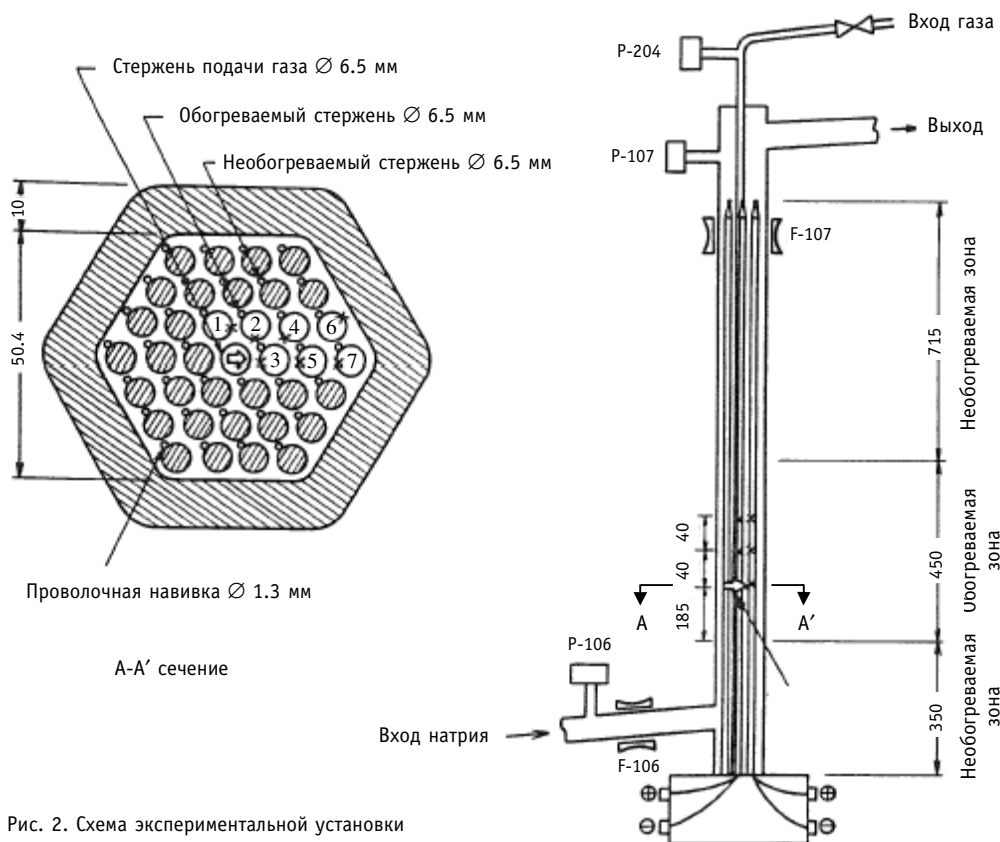


Рис. 2. Схема экспериментальной установки

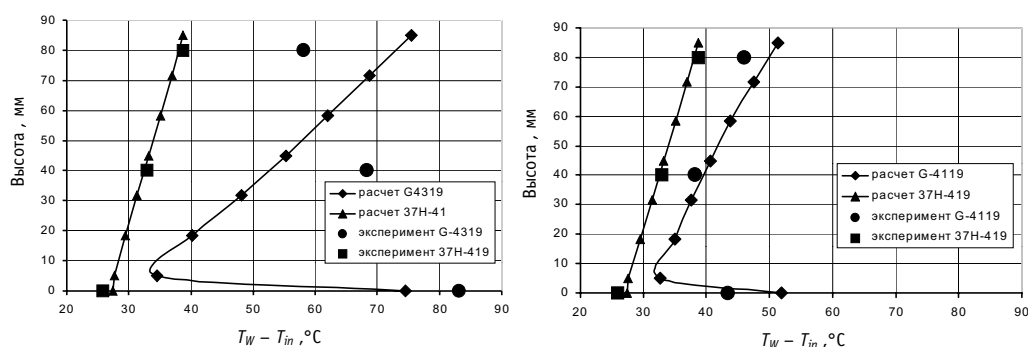


Рис. 3. Прирост температуры оболочки третьего нагревательного элемента в различных точках по высоте

Истечение газа моделировалось как для стационарных, так и нестационарных условий. В экспериментах измерялась температура поверхности нагревательных элементов в различных точках по сечению сборки и расположенных в трех плоскостях: на уровне отверстия, 40 и 80 мм вниз по течению теплоносителя от отверстия. В экспериментальной сборке было всего семь обогреваемых стержневых элемента, расположенных компактно в зоне действия струи газа.

Из анализа стационарных экспериментов, которые описаны в работе [2], можно сделать вывод, что при расходах газа менее 0.2 г/с воздействие струи распространялось на ближайший ряд нагревательных элементов (нагревательные элементы 1–3). При таком расходе газа стержни, расположенные через ряд от места выхода (нагревательные элементы 4, 5), не испытывают влияние струи газа. При увеличении расхода газа воздействие струи достигает второго и даже третьего ряда стержней, расположенного на периферии сборки (нагревательные элементы 6, 7). Во всех экспериментах максимальное отклонение температуры зафиксировано на поверхности 3-го нагревательного элемента, расположенного напротив отверстия. Поэтому при обработке экспериментов с помощью программы TWOCOM важно было выделить ту часть поверхности 3-го нагревательного элемента, которая непосредственно находилась в зоне действия струи и где была расположена термопара (рис. 2). Для этого соответствующая поверхность стержня моделировалась первым расчетным радиусом, как показано на рис. 1(б). Остальные нагревательные элементы, находящиеся далее по ходу действия струи, моделировались с меньшей точностью.

С помощью программы TWOCOM были обработаны два стационарных эксперимента (табл. 1). В эксперименте G-4119 расход газа меньше 0.2 г/с, а в варианте G-4319 расход газа превышает это значение. Как видно на рис. 3, в варианте G-4319 расчетное распределение приращения температуры поверхности 3-го нагревательного элемента по высоте канала менее согласуется с экспериментом, чем в варианте G-4119. Очевидно, что высокоскоростное истечение газа приводит к более существенному отклонению от осесимметричного рассеивания газа по радиусу сборки, и в варианте G-4319 расчетные температуры оболочек 3-го нагревательного элемента в точках,

Таблица 1

Основные параметры стационарных экспериментов

Номер эксперимента	Тепловой поток, Вт/см ²	Расход струи газа, г/с	Скорость натрия на входе в сборку, м/с	Теплоноситель
G-4119	79.1	0.18	4.89	Жидкость + газ
G-4319	78.0	0.87	4.71	
37H-419	78.5	—	4.82	Жидкость

расположенных ниже плоскости истечения газа, занижены относительно экспериментальных данных. Если же расход газа не так велик (вариант G-4119) и радиальная направленность струи ограничена соседним твэлом, а в рамках расчетной области фактически первым расчетным радиусом, то после столкновения газа со стенкой соседнего твэла струя рассеивается по азимуту. В результате движение газа становится близким к двумерному. Поэтому в варианте G-4119 расчетное распределение температуры поверхности оболочки по высоте 3-го стержня уже значительно лучше соответствует экспериментальным данным. Из вышесказанного следует, что моделирование высокоскоростного струйного истечения газа с помощью двумерной программы заведомо содержит погрешности.

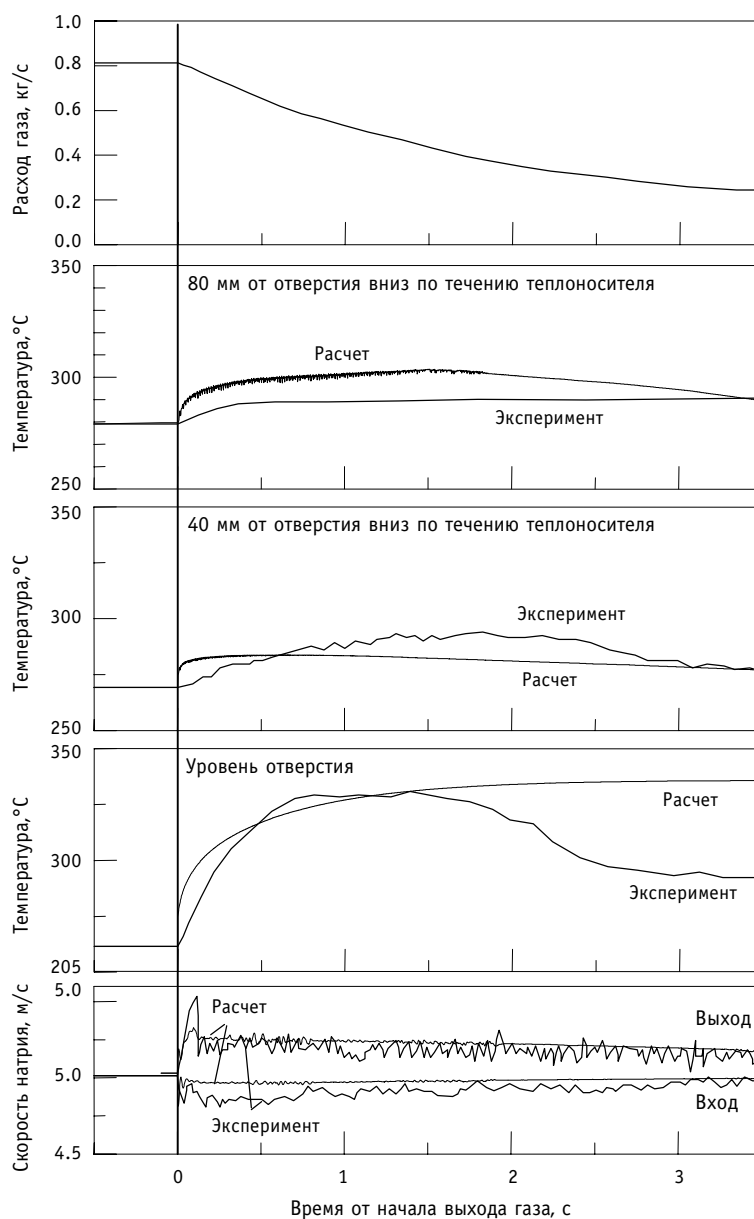


Рис. 4. Сравнение расчета с результатами нестационарного эксперимента GR-13

С помощью программы TWOCOM был обработан также нестационарный эксперимент GR-13 [2]. Расход струи газа за 3 с падает в три раза, как показано на рис. 4. Выходящий газ разгоняет поток натрия на выходе из сборки и одновременно тормозит натрий на входе в сборку, что хорошо воспроизводится в расчете. Как видно на рис. 4, расчетные температуры поверхности нагревательных элементов на разных высотных отметках в целом согласуются с экспериментальными данными. Наиболее важно то, что полученное в расчете значение максимальной температуры поверхности нагревательного элемента в точке выхода газа близко к экспериментальному значению.

В настоящее время намечена более обширная верификация разработанной программы, которая позволит уточнить область ее возможного применения.

РАСЧЕТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ РАЗГЕРМЕТИЗАЦИИ ТВЭЛОВ

Приведем некоторые результаты параметрических исследований процессов разгерметизации одного твэла в ТВС реактора БН-600, выполненных с помощью программы TWOCOM. Вначале проанализируем варианты разгерметизации твэла без детали-

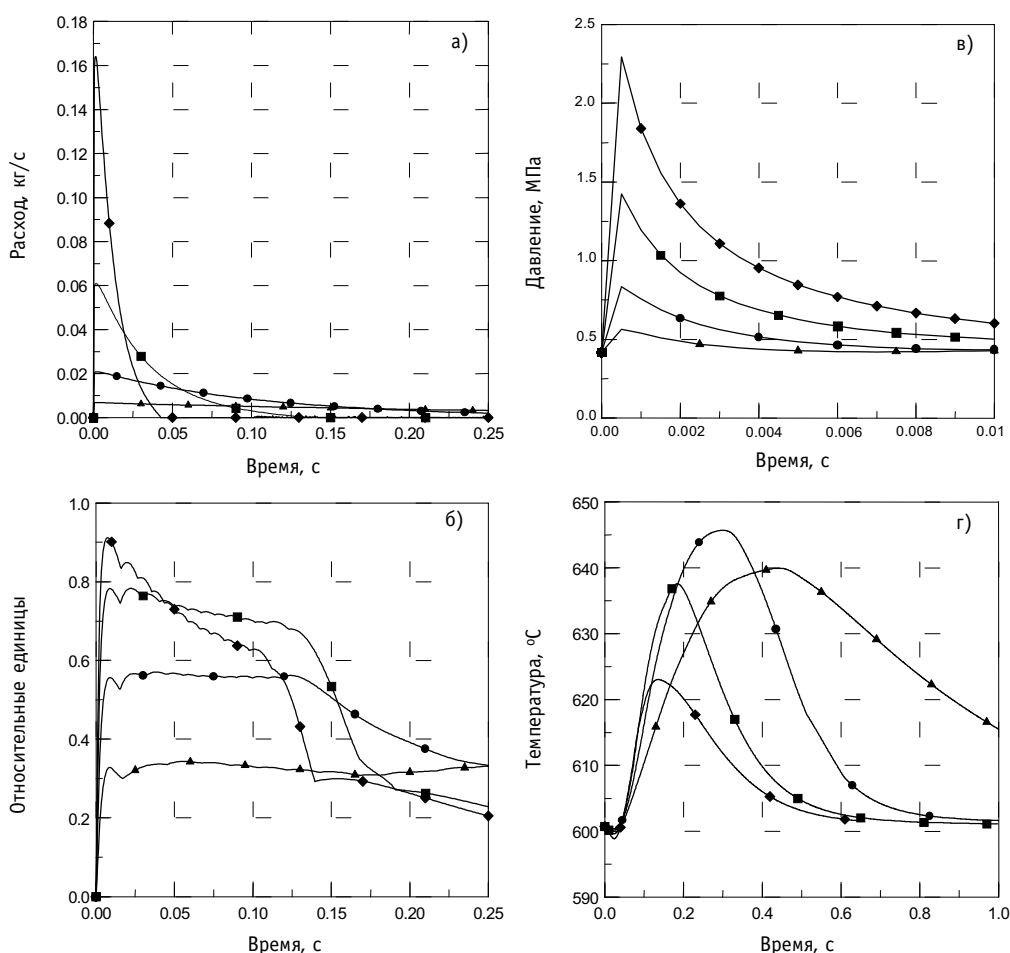


Рис. 5. Расход газа из поврежденного твэла (а); максимальная объемная концентрация газа (б); давление теплоносителя в точке разгерметизации твэла (в); максимальная температура оболочки твэла (г). Расчет без детализации воздействия струи газа на соседний твэл. Коэффициент местного сопротивления: \blacklozenge – $\zeta_o = 10^{10}$, \blacksquare – $\zeta_o = 10^{11}$, \bullet – $\zeta_o = 10^{12}$, \blacktriangle – $\zeta_o = 10^{13}$

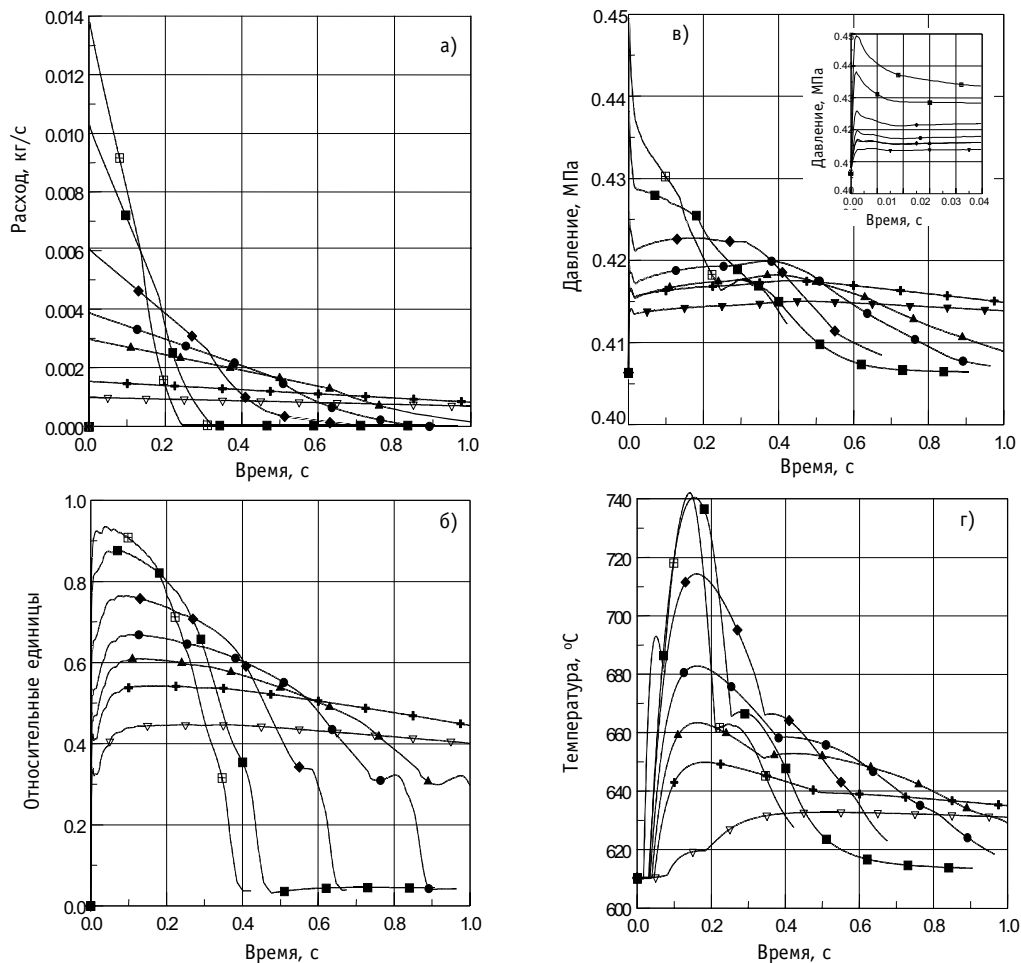


Рис. 6. Расход газа из поврежденного твэла (а); максимальная объемная концентрация газа (б); давление теплоносителя в точке разгерметизации твэла (в); максимальная температура оболочки твэла (г). Расчет с детализацией воздействия струи газа на соседний твэл. Диаметр отверстия поврежденного твэла: \boxplus – 1.5 мм, \blacksquare – 1.3 мм, \blacklozenge – 1.0 мм, \bullet – 0.8 мм, \blacktriangledown – 0.7 мм, \blacktriangle – 0.5 мм, \blackplus – 0.4 мм

зации воздействия струи газа на соседний твэл. При разрыве оболочки твэла размер и форма образовавшейся трещины могут быть произвольными. Часто разрывы образуются вдоль проволоочной навивки и представляют собой продолговатые трещины. Истечение газа через такие трещины не имеет вид направленной струи, поэтому исследование последствий от таких разрывов оболочки с помощью двумерной программы возможно без ограничения по скорости выхода газа.

В расчетах расход газа зависел от приведенного коэффициента местного сопротивления, который определялся в соответствии с формулой (9) через площадь проходного сечения трещины. Значения приведенного коэффициента местного сопротивления полагались равными $\zeta_0=10^{10}$, 10^{11} , 10^{12} , 10^{13} . Как видно из рис. 5(а), варианты $\zeta_0=10^{10}$ и $\zeta_0=10^{11}$ соответствуют быстрому выходу газа из твэла при большом разрыве оболочки (время выхода газа соответственно 0.04 и 0.15 с), варианты $\zeta_0=10^{12}$ и $\zeta_0=10^{13}$ – медленному выходу газа через небольшие по размерам трещины (время выхода газа соответственно 0.31 и 0.64 с). При большом разрыве оболочки $\zeta_0=10^{10}$ струя газа максимально вытесняет натрий из области, прилегающей к разрыву оболочки, что сопровождается максимальным ростом давления (рис. 5(в)). Нагрев обо-

лочек происходит во время прохождения газовым пузырем области активной зоны, а как только газ выходит за ее пределы начинается остывание твэлов. Чем медленней происходит выход газа из твэла, тем процесс становится менее интенсивным, но более продолжительным. Как следствие, с одной стороны, амплитуда пиковых скачков давления уменьшается, с другой стороны, максимумы температуры оболочек возрастают (рис. 5(г)), что обусловлено большей продолжительностью выхода газа из поврежденного твэла. К тому же сокращается распространение газа в радиальном направлении, поэтому струя газа, поднимающаяся к выходу ТВС, становится тоньше, захватывая при этом меньшее количество каналов по радиусу сборки.

В расчетном исследовании с детализацией воздействия струи газа на соседний твэл использовалась более детальная расчетная сетка в области сухого пятна. Как уже упоминалось выше, при больших расходах газа, соответствующих быстрому выходу газа из твэла, двумерная постановка задачи дает погрешность, поэтому анализировалось только медленное истечение газа из поврежденного твэла, т.е. время выхода газа во всех случаях превышало 0.25 с. Истечение газа задавалось через отверстия круглой формы с различными диаметрами (0.4, 0.5, 0.7, 0.8, 1.0, 1.3, 1.5 мм). При больших диаметрах отверстий струя газа максимально вытесняет натрий из области сухого пятна, что сопровождается скачком давления и снижением расхода натрия на входе в сборку (рис. 6). На начальной стадии процесса максимум температуры оболочек в большинстве случаев соответствует сухому пятну. Для варианта с диаметром отверстия 1.5 мм в сухом пятне содержание газа по расчету достигает ~0.95. По мере выхода газа из твэла и после снижения интенсивности струи максимум температуры оболочек смещается вверх от трещины в направлении движения газового пузыря. Еще более четко такая тенденция проявляется при повреждениях с небольшими отверстиями (диаметр 0.4, 0.5 мм). Здесь уже с самого начала максимальные температуры оболочек твэлов находятся выше трещины и влияние струи газа на соседний твэл не столь велико.

В результате параметрических исследований большого числа сценариев разгерметизации твэла в ТВС реактора БН-600 не обнаружено условий для лавинообразного распространения повреждений за счет перегрева соседних твэлов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Математическая модель, положенная в основу двумерной версии программы TWOCOM, достаточно полно описывает разгерметизацию твэла при сравнительно медленном истечении газа из небольших отверстий в его оболочке (время выхода газа из твэла больше 0.25 с). Это подтверждается сравнением расчетов с экспериментами. Для моделирования быстрого струйного истечения газа (время выхода газа из твэла меньше 0.25 с) разрабатывается трехмерная версия программы. Если же истечение газа через трещину не имеет вида направленной струи, то анализ последствий таких разрывов оболочки возможен с помощью двумерной программы без ограничения по расходу газа.

2. Параметрическое исследование последствий разгерметизации твэла и выхода из него газообразных продуктов деления в тепловыделяющей сборке реактора БН-600 показывает, что с точки зрения роста температур наиболее неблагоприятным является медленное истечение газа через небольшие по размерам трещины в оболочке.

Литература

1. *Erp J.B., Chawla T.C., Wilson R.E. and Fauske H.K. Pin-to-Pin Failure Propagation in Liquid-Metal-Cooled Fast Breeder Reactor Fuel Subassemblies//Nuclear Safety. - 1975. - V. 16. - P. 291-307.*

2. *Haga K., Kikuchi Y.* Experimental Investigation of Coolability Degradation by Fission Gas Release into Flowing Sodium in a Fuel Pin Bundle//Nuclear Technology. - 1985. - V. 70. - P. 220-234.
3. Fission Gas Release and Thermal Impact on Neighbour Pins: the Lipogaz Experiments by A. Gruss and J.M. Seiler. – IAEA/TWGFR Meeting on «Material Coolant Interaction and Material Movement and Relocation in Liquid Metal Fast Breeder Reactor» (O-Arai Engineering Center, 6-9 June, 1994).
4. *Quan V., Agrawal A.K.* A Unified Model for Fission Gas Release and Sodium Boiling in Reactor Coolant Channel// Trans. Am. Nucl. Soc. - 1977. - V. 26. - P. 345.
5. *Chawla T.C., Hauser G.M., Grolmes M.A. and Fauske H.K.* The Recovery of Coolant Flow Following Rapid Release of Fission Gas from a Postulated Multiple Pin Failure in a Liquid-Metal Fast Breeder Reactor Subassembly//Nuclear Science and Engineering. - 1975. - V. 58. - P. 21-32.
6. *Идельчик И.Е.* Справочник по гидравлическим сопротивлениям. – М.: Машиностроение, 1975.

Поступила в редакцию 08.08.2005

In the article the procedure of the investigation of the point model of xenon fluctuations taking into account power reactivity coefficient is presented. The dimensionless equations of the decay of xenon and iodine are built. It turned out that the qualitative behavior of system in the utilized approximation is determined by two dimensionless criteria. On the coordinate plane, given to this criteria, built the regions of the qualitatively different behavior of model. Formulas for the position of equilibriums of system and natural vibration frequencies are obtained.

УДК 621.039.516.4

Comparative Analysis of Methods and Tools for Open and Closed Fuel Cycles Modelling: MESSAGE and DESAE \ A.A. Andrianov, Yu.A. Korovin, V.M. Murogov, E.V. Fedorova, G.A. Fesenko; – Obninsk, 2006. – 8 pages, 8 illustrations, 1 table. – References, 7 titles.

Comparative analysis of optimization and simulation methods by the example of MESSAGE and DESAE programs was carried out for nuclear prospects and advanced fuel cycles modeling. Test calculations for open and two-component nuclear system closed fuel cycle were performed. Auxiliary simulation-dynamic model was developed to specify MESSAGE and DESAE modeling approaches difference. The model description is given.

УДК 621.039.516.4

Optimization of Transition to Two-Componental Nuclear Power by Plutonium Proliferation Risk Exposure Minimization Criterion \ A.A. Andrianov, G.A. Fesenko; – Obninsk, 2006. – 9 pages, 8 illustrations, 1 table. – References, 13 titles.

The structure of global nuclear power on the phase of transition from present unicomponent nuclear power with the collected plutonium in different forms up to the established development of two-component nuclear power with fast reactors and lack of plutonium in an external fuel cycle by criterion of minimization of potential plutonium proliferation risk is optimized. The cumulative proliferation risk exposure for various scenarios of global nuclear power development is calculated.

УДК 621.039.586: 621.039.526

Failure of Fuel Element Cladding of Fast Reactor Causing Release of Gas Fission Products into Sodium Coolant \ A.V. Volkov, I.A. Kuznetsov; – Obninsk, 2006. – 11 pages, 6 illustrations, 1 table. – References, 6 titles.

The computer code TWOCOM simulating the fission gas jet from pin failure in subassembly of fast reactor are described. The mathematical model of the computer code in which basis a fully system of conservation equations two component flow for liquid sodium and gas is put is briefly stated. Test calculations of steady and transient experiments on studying gas release into sodium circulation loop are resulted. Some results of the parametric study due to pin failure and gas release for subassembly of BN-600 reactor are resulted.

УДК 621.039.586: 621.039.526

The Advanced Sodium Boiling Model for the Analysis of Accidents within Fast Reactors \ A.V. Volkov, I.A. Kuznetsov; – Obninsk, 2006. – 11 pages, 5 illustrations, 2 table. – References, 13 titles.

Method of calculation for transient conditions of sodium boiling used two-component non-equilibrium model. For this purpose is solved a fully model of two-phase flow using six conservation equations for 2D integral calculation domain. Proposed method has been designed calculation code called TWOCB. Reliability of code has been verified on calculation tests. Code is proposed for solving applied tasks of the analysis of design and beyond design accidents in sodium cooled reactors.