

МОДЕЛИРОВАНИЕ АВАРИЙНЫХ ПРОЦЕССОВ В РЕАКТОРНЫХ УСТАНОВКАХ С PWR (ВВЭР) С ПОМОЩЬЮ СИСТЕМНОГО РЕАЛИСТИЧЕСКОГО КОДА ATHLET

Семенович О.В., Шапоров В.А., Дойникова В.А.
(ОИЭЯИ–Сосны НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь)
E-mail: sov@sosny.bas-net.by

Abstract: *The report presents the results of numerical experiments carried out to verification of system code ATHLET/Mod2.2. Were simulated real experiments conducted at one of the test beds. Experimental facility is a test bed БК В-213.*

Keywords: *system best estimate code, computer simulation, nuclear power reactor.*

Системные теплогидравлические коды – программные комплексы, предназначенные для моделирования параметров теплоносителя во всей реакторной установке. Моделировать с достаточной точностью все режимы гидродинамики и теплообмена многофазного теплоносителя, охлаждающего ТВС ядерного реактора, возможно только в приближении «раздельного течения фаз». В рамках этого приближения многофазный поток предполагается состоящим из некоторого количества фаз, для каждой из которых в рамках приближения раздельного течения записывается своя система уравнений сохранения: уравнения неразрывности, баланса энергии и импульса (система уравнений поля). В документации по коду [1] систему решаемых уравнений полученных в рамках названного приближения называют «моделью шести уравнений» (в оригинале – *6-Equation Model*). Вполне разумное название, учитывая то обстоятельство, что пароводяная смесь рассматривается в двухфазном (двухжидкостном двухполевом) приближении. Это типичное для всех системных реалистических кодов приближение. Сохранена и используемая ранее (90-е годы – ATHLET/Mod1.*) модель, основанная на приближении «скорости дрейфа» («дрейфующего потока», «потока дрейфа»). Полученную в рамках этого формализма систему решаемых уравнений, разработчики называют, придерживаясь выбранной логики наименования моделей, «моделью пяти уравнений» (в оригинале – *5-Equation Model*). Заметим, что модель «скорости дрейфа» не в состоянии адекватно описать процессы межфазного взаимодействия в ряде режимов течения и теплообмена. Разработчики сохранили её с той, в частности, целью, чтобы пользователь мог сравнить результаты, которые получаются при расчётах по различным моделям.

Авторы выражают **благодарность** германским коллегам из GRS за предоставленную информацию, необходимую для проведения расчётов и их анализа.

Рассматривается задача моделирования поведения теплоносителя при наличии некомпенсируемой течи в холодной нитке циркуляционной петли реактора типа PWR. В качестве исследуемого объекта используется «модельная версия» реактора PWR (вертикальный U-образный парогенератор). Рассматривался сценарий некомпенсируемой течи 400 см^2 в «холодных» нитке одной из петель. Активная зона представляется в виде двух колец: внутреннего (COR1), содержащего 153 ТВС, и внешнего (COR2), который содержит 40 твэльных сборок. Фрагменты (первый и второй контуры) расчётной модели представлены на рисунках 1 и 2, соответственно. В качестве вычислительного инструмента авторами использовались версии программного комплекса ATHLET официально переданная в распоряжение белорусских исследователей разработчиками (GRS) – ATHLET/Mod2.2(Cycle-A) и ATHLET/Mod3.0.

Математические модели обоих расчётных кодов одинаковы, в части систем решаемых уравнений. Применяются одинаковые численные методы. Однако некоторые замыкающие соотношения различаются. Поэтому представляет интерес сравнение результатов, полученных с применением названных программных средств.

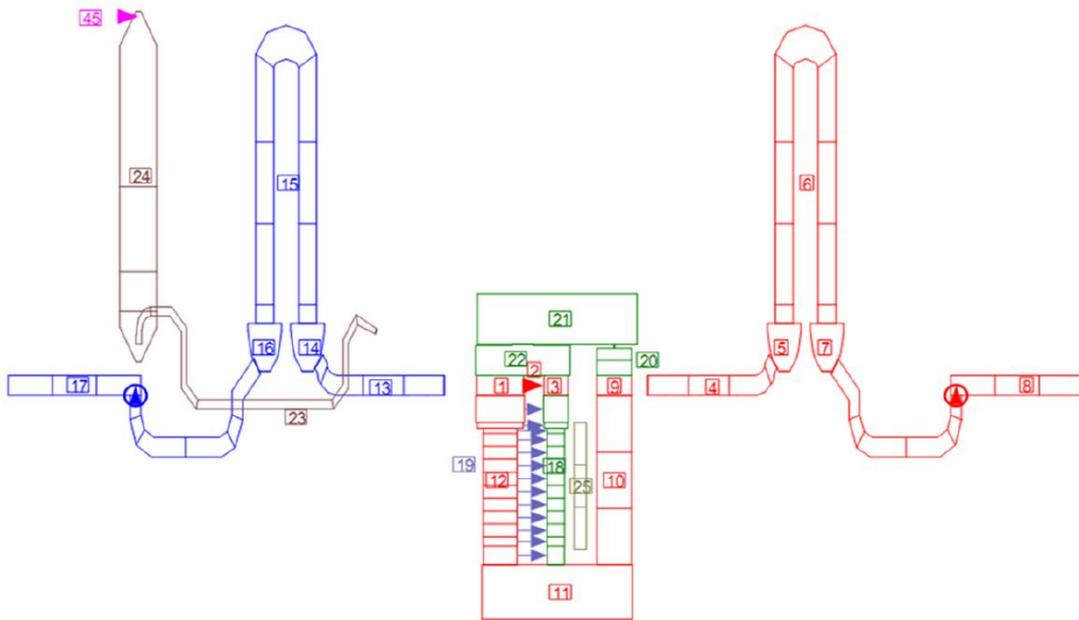


Рис. 1. Фрагмент расчетной модели: схема первого контура

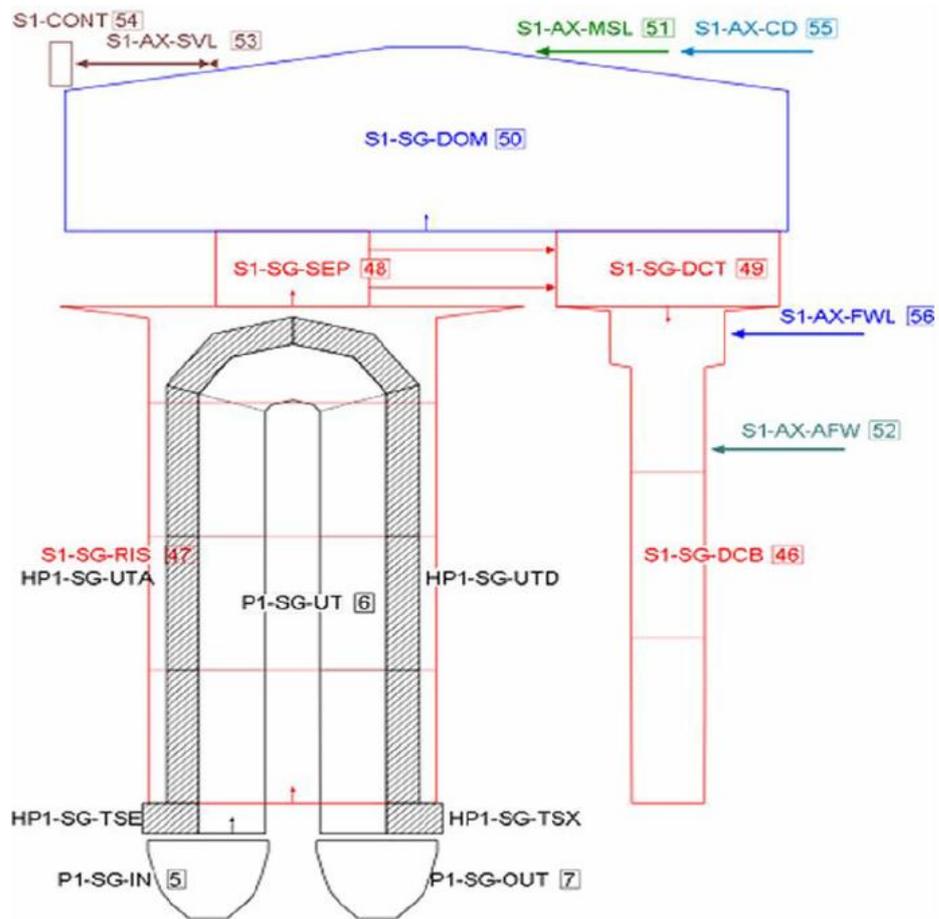


Рис. 2. Фрагмент расчетной модели: схема первого контура

Здесь представлены некоторые результаты следующих экспериментов. 1) «Сценарий № 1»: «стандартный» – для моделирования используется модель «5-ти уравнений»). 2) «Сценарий № 2»: модернизация «стандартного» сценария – для ряда ТФО используется модель «6-ти уравнений». 3) «Сценарий № 3»: «сценарий № 1», реализованный с применением ATHLET/Mod3.0. 4) «Сценарий № 4»: «сценарий № 2», реализованный с применением ATHLET/Mod3.0. 5) «Сценарий № 5»: модернизация «стандартного» сценария – для ряда ТФО изменена пространственная дискретизация. 6) «Сценарий № 6»: модернизация «сценария № 2» – для ряда ТФО изменена пространственная дискретизация.

Авторы ставили целью проверить как различаются при использовании различных моделей и/или различных версий кода температур поверхностей оболочек твэлов (второго защитного барьера) и сколь хорошо выбрана сетка пространственной дискретизации расчётной области.

Результаты проведенных вычислительных экспериментов (рисунки 3–5, в частности) показали, что 1) температуры поверхностей оболочек твэлов практически одинаковы при использовании любой из реализованных в коде математических моделей; 2) температуры поверхностей оболочек твэлов практически одинаковы при использовании любой из версий (2.2 или 3.0) кода; 3) пространственная сетка выбрана оптимально (уменьшение шага вдвое не влияет на результат).

Это позволяет сделать следующие выводы. 1. Версии Mod2.2 и Mod3.0 кода ATHLET с точки зрения детерминистических возможностей для рассмотренного класса задач фактически равноценны. Следовательно, нет необходимости проводить повторно (с применением версии Mod3.0) вычислительные эксперименты, выполненные с использованием ATHLET/Mod2.2. 2. Для рассмотренного класса задач вполне применимо использовать в расчётах более простую (следовательно, требующую для реализации меньших компьютерных ресурсов) модель «5-ти уравнений» (приближение скорости дрейфа).

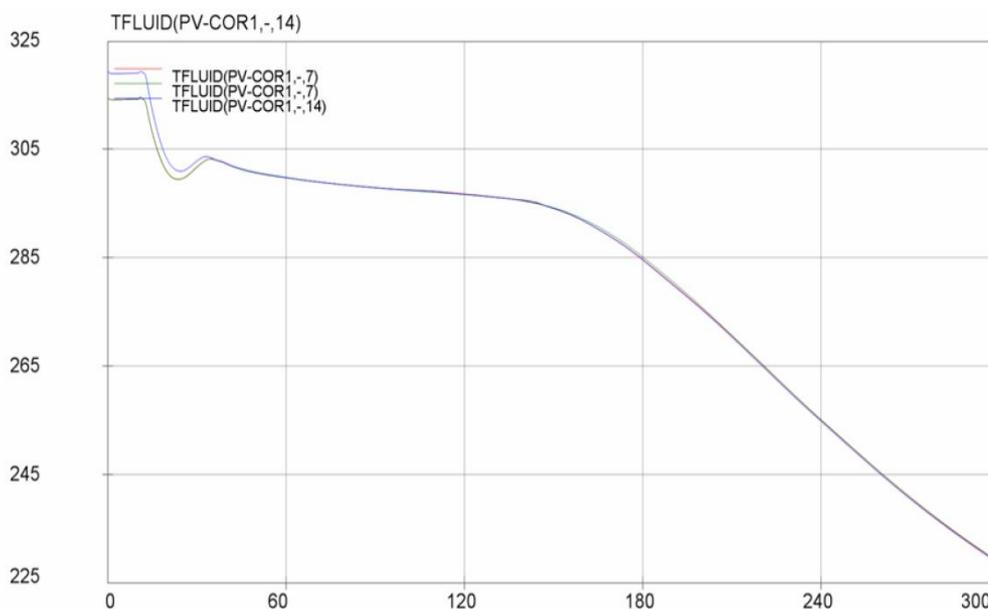


Рис. 3. Сравнение температуры наружной поверхности оболочки твэла термогидродинамического объекта PV-COR1 в узле 7 (14) для «Сценария №1» (красная линия), «Сценария №2» (зеленая линия) и «Сценария №3» (синяя линия)

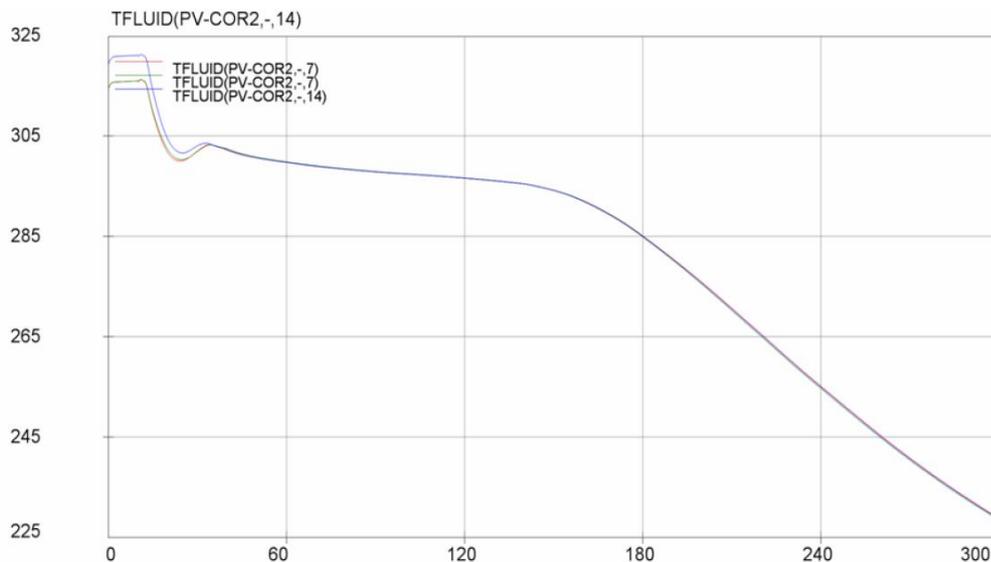


Рис. 4. Сравнение температуры наружной поверхности оболочки твэла термогидродинамического объекта PV-COR2 в узле 7 (14) для «Сценария №2» (красная линия), «Сценария №4» (зеленая линия) и «Сценария №6» (синяя линия)

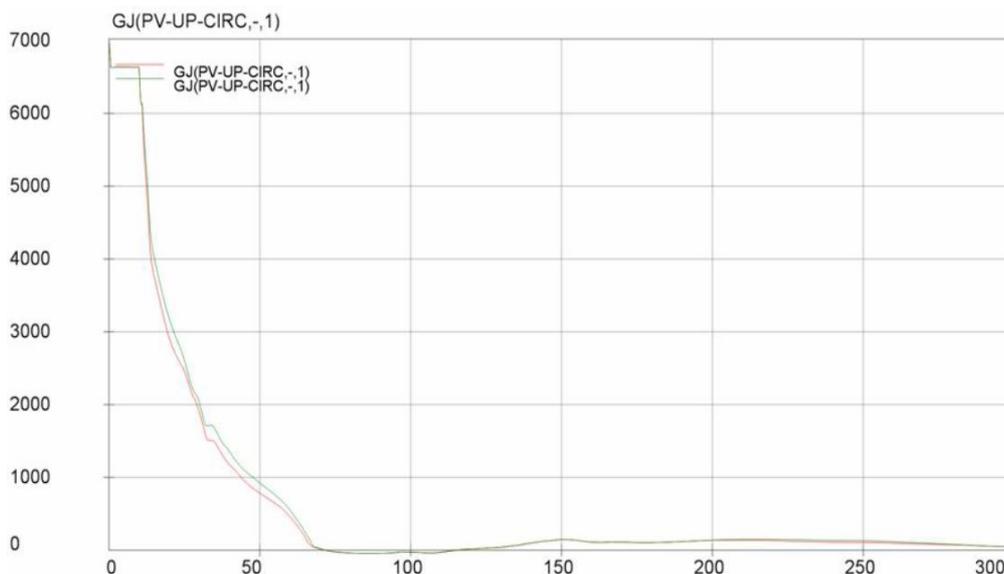


Рис. 5. Изменения массового расхода теплоносителя (кг/с) в термогидродинамическом объекте PR-Up-CIRC: «Сценарий №1» (красная линия), «Сценарий №3» (зеленая линия)

Список литературы: 1. ATHLET Mod2.2 Cycle A: in 4 v. / Berlin, Gesellschaft für Anlagensicherheit (GRS) mbH, 2009. – V.4. Models and Methods / H. Austregesilo [et al.]. – 2009. – 363 p.