

УДК 621.039

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАСЧЕТНОЙ СХЕМЫ АКТИВНОЙ ЗОНЫ РЕАКТОРА ТИПА ВВЭР-1000 В КОДЕ RELAP5/MOD3.2 ДЛЯ АНАЛИЗА АВАРИЙ

В.В. Гальченко, В.И. Макодым, Р.А. Гречаный

(Национальный технический университет Украины «КПИ», г. Киев)

Изучение подходов к формированию расчетных схем в тех или иных расчетных программах важны для анализа поведения исследуемой системы. От этого зависит точность прогнозирования стационарного и переходных режимов работы объекта.

В данной работе, для исследования влияния и учета эффектов перемешивания теплоносителя была разработана новая расчетная схема реактора ВВЭР-1000/В-320. При разработке данной расчетной схемы были включены рекомендации предложенные специалистами ОКБ «Гидропресс».

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день, для проведения расчетов анализа проектных аварий (АПА) для целей ВАБ для АЭС Украины применяют хорошо известный американский компьютерный код RELAP/MOD3.2 [1]. Этот код имеет положительный опыт участия в различных программах по верификации/валидации (в частности, применительно к установкам ВВЭР) и широко используется в проектной, эксплуатирующей и регулирующей деятельности.

Базовая расчетная схема реакторной установки ВВЭР-1000 (В-320), которую используют в Украине, имеет ряд упрощений, связанных с моделированием опускного участка, нижней камеры смешения и активной зоны (АкЗ). Упрощение заключается в том, что в используемой модели активная зона реактора условно разбита на одну горячую ТВС (предполагается, что эта ТВС не является периферийной) и 162 усредненных ТВС [4]. Такая нодализация не позволяет учитывать перемешивание потоков теплоносителя, усредняет параметры теплоносителя на входе в активную зону и приводит к недооценки локальных эффектов. Согласно исследованиям, проведенными ОКБ «ГИДРОПРЕСС» [2], перемешивание потоков имеет большое значение для обоснования безопасности реакторной установки (РУ), так как, например, попадание на вход в АкЗ теплоносителя с пониженной концентрацией бора или температурой приводит к вводу в зону положительной реактивности и может вызвать серьезные последствия. Для исследования влияния этих эффектов была разработана новая расчетная схема реактора ВВЭР-1000/В-320, которая позволяет учитывать перемешивание потоков теплоносителя. При разработке данной расчетной схемы были включены рекомендации предложенные в [2].

ОПИСАНИЕ «НОВОЙ» РАСЧЕТНОЙ СХЕМЫ РЕАКТОРА В-320

«Новая» нодализационная схема представлена на рис. 1. Для моделирования, разделяем опускной участок и нижнюю камеру смешения на четыре части, с углом $\varphi=90^\circ$, таким образом, что бы в каждую четверть приходилось по одному входному и выходному патрубку и, одному патрубку САОЗ. Активная зона реактора условно разбита на одну горячую ТВС (предполагается, что эта ТВС не является периферийной), и 162 усредненных ТВС, которые, в свою очередь, разбиты на

четыре части, а также байпас через кольцевой зазор между шахтой и выгородкой, байпас через направляющие и центральные трубки ТВС и необогреваемую часть АкЗ.

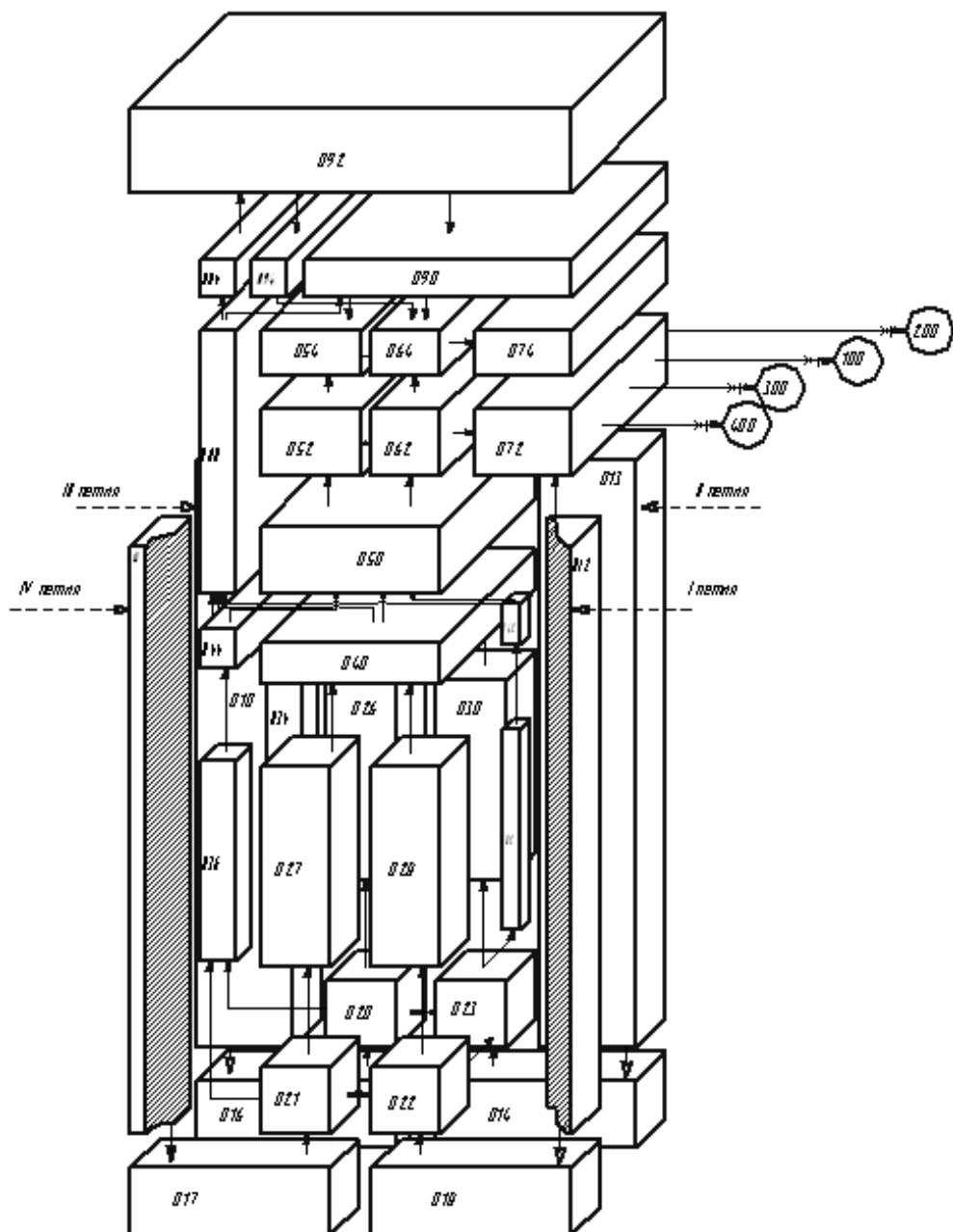


Рис. 1. Модернизированная нодализационная схема модели реактора

ВАЛИДАЦИЯ РАСЧЕТНОЙ СХЕМЫ

Для подтверждения правильности разработанной «новой» расчетной схемы был проведен расчет переходного процесса «Останов энергоблока действием АЗ по причине отказа в работе ТПН 1, 2», который имел место на энергоблоке №1 ХАЭС 18.11.1997 [3].

Валидация базовой расчетной схемы была выполнена в рамках проекта по анализу безопасности энергоблока №1 Хмельницкой АЭС и детально приведена в [5]. Валидационные расчеты для разработанной «новой» расчетной схемы выполнены на тех же самых переходных процессах, что и в [5]. Ниже, на рисунках 2-6, приведены результаты сравнения экспериментальных данных с расчетными, как для «новой» так и для «базовой» расчетной схемы.

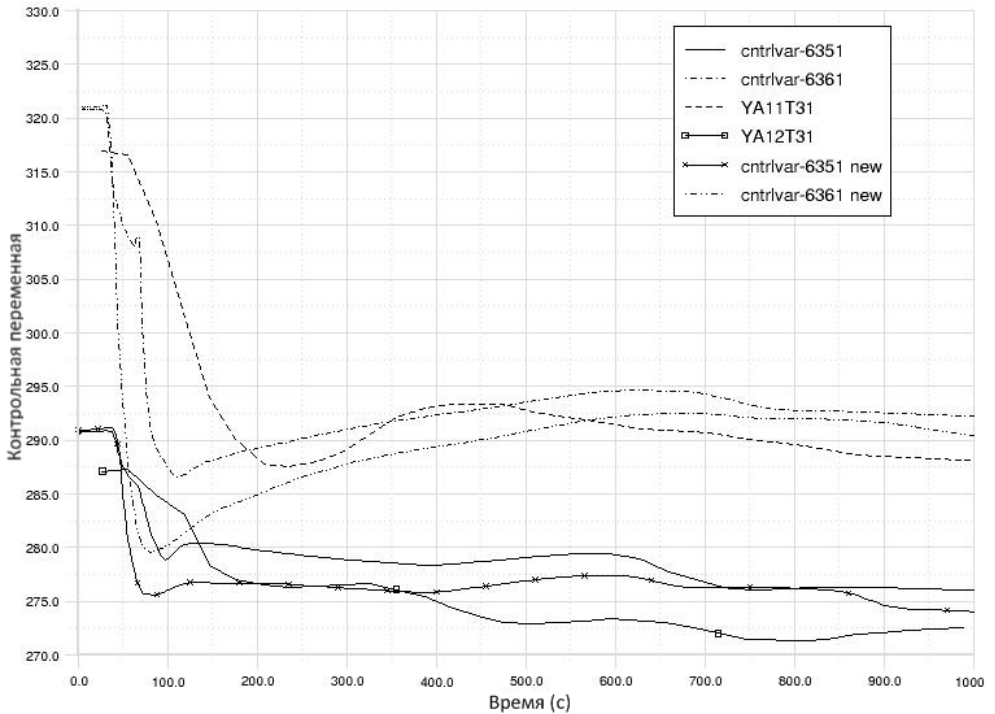


Рис. 2. Температура холодной и горячей нитки 1-й петли

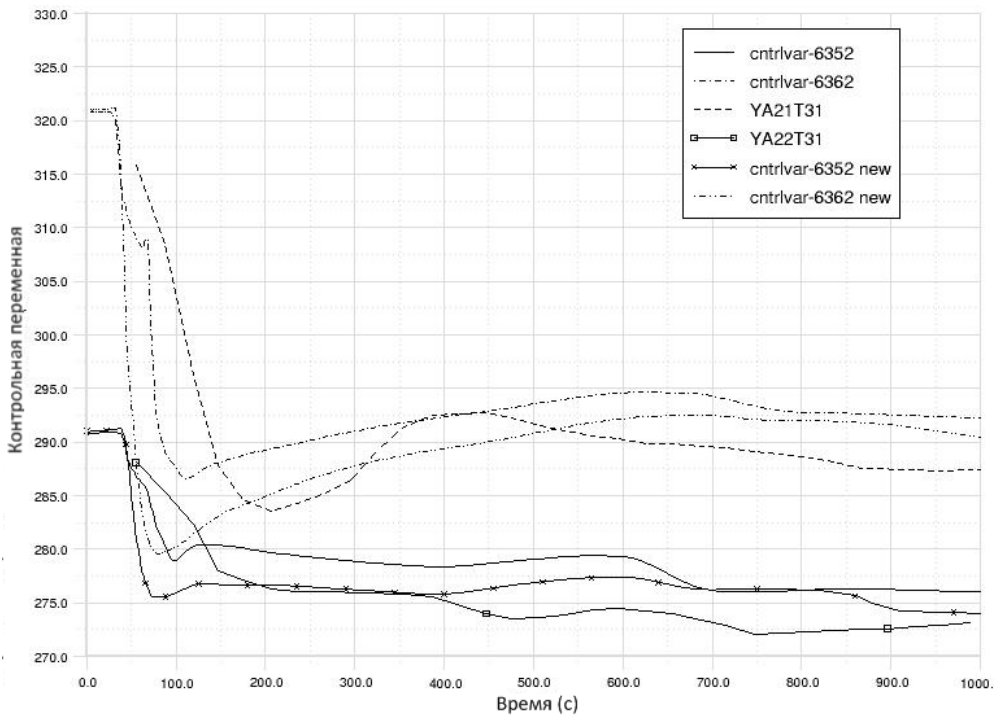


Рис. 3. Температура холодной и горячей нитки 2-й петли

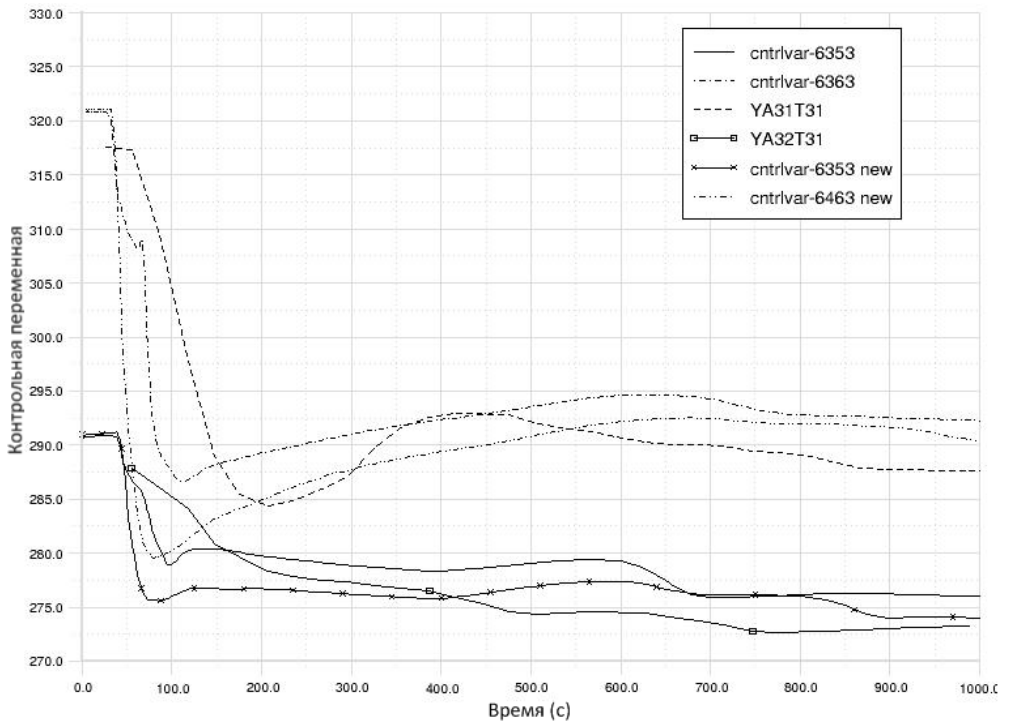


Рис. 4. Температура холодной и горячей нитки 3-й петли

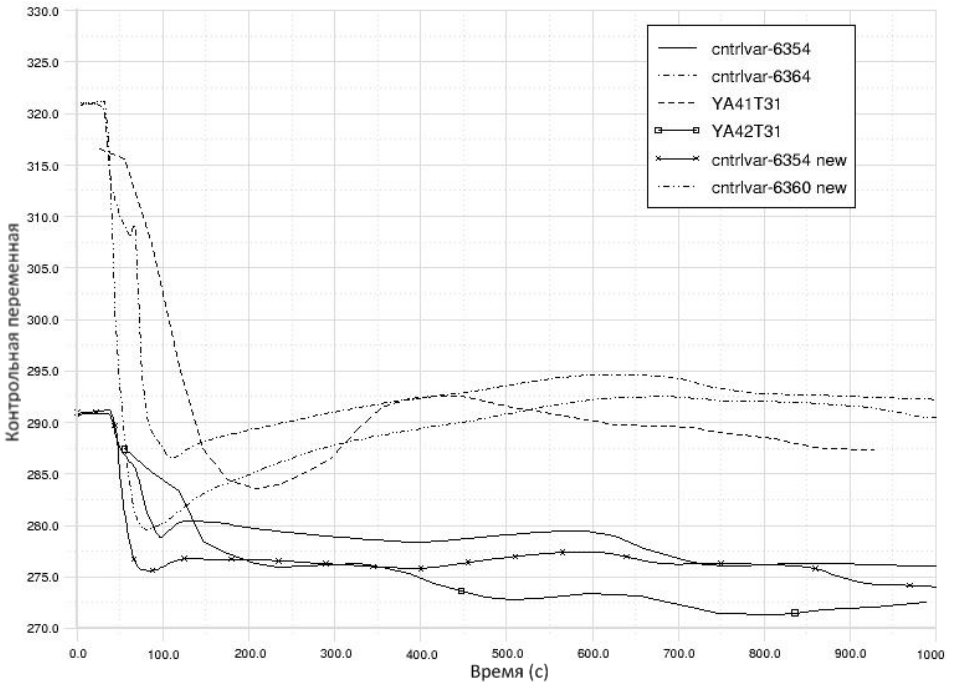


Рис. 5. Температура холодной и горячей нитки 4-й петли

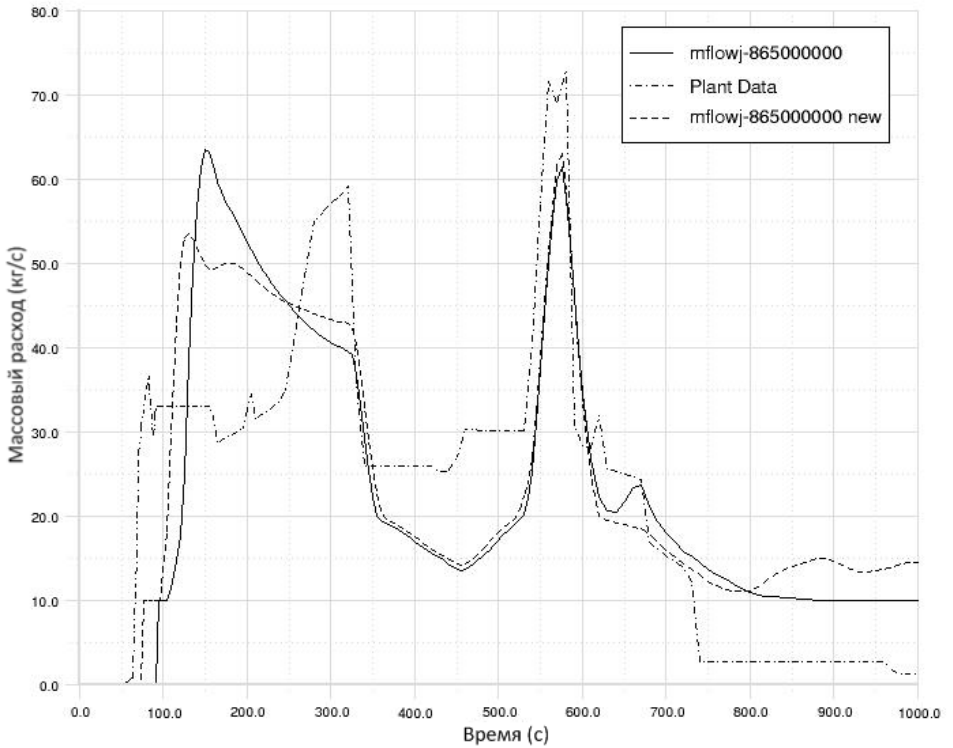


Рис. 6. Работа БРУ-СН (Plant Data – данные со станции)

Из выше приведенных графических результатов можно отметить, что «новая» расчетная схема достаточно полно отображает ход протекания аварийного события, что делает возможным ее дальнейшее использование для проведения исследований и расчетов и решения поставленных задач.

ИСА «ДВУХСТОРОННИЙ РАЗРЫВ ГЦТ»

Двухсторонний разрыв холодной нитки ГЦТ является максимальной проектной аварией для реакторов типа ВВЭР-1000, ожидаемые последствия которой приводят к максимальной температуре оболочек твэл.

Рассматривается двухсторонний разрыв холодной нитки ГЦТ (гильотинный разрыв ГЦТ эквивалентным диаметром 2×850 мм) на входе в реактор. В расчетном сценарии постулируется отказ на запуск одного ДГ (единичный отказ в системе аварийного электроснабжения) и, как следствие, отказ одного канала каждой из активных систем безопасности. Для анализируемого ИС рассматривались Холодная нитка ГЦТ после ГЦН (на входе в реактор).

Кроме того, разрыв холодной нитки ГЦТ приводит к развороту потока теплоносителя в опускной камере реактора и стагнации потока в активной зоне. Эти факторы являются причиной дополнительного роста наружной температуры оболочек твэл на фазе истечения (первый пик).

Потеря электроснабжения собственных нужд энергоблока существенно влияет на развитие анализируемой аварии, главным образом за счет более позднего расхолаживания активной зоны с помощью активных систем безопасности (САОЗ НД, САОЗ ВД). Для обеспечения максимальной задержки подачи теплоносителя в реактор от систем САОЗ, т.е. наихудших условий охлаждения твэл, потеря электроснабжения постулируется в момент формирования сигнала АЗ. Результаты численного анализа приводятся в сравнении с базовой расчетной схемой и представлены в графическом виде на рисунках 7 – 15.

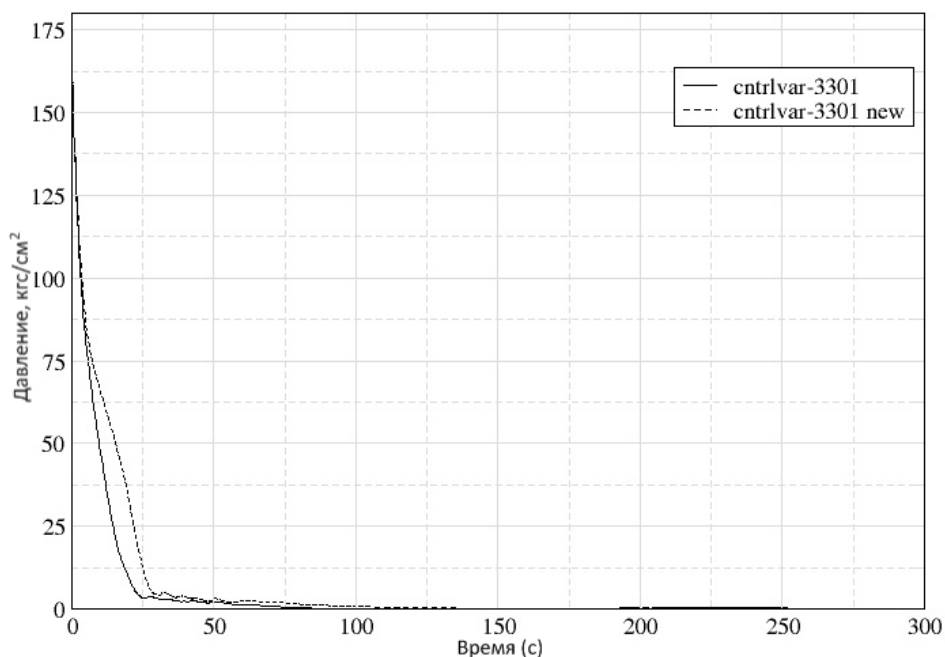


Рис. 7. Давление теплоносителя на выходе из реактора

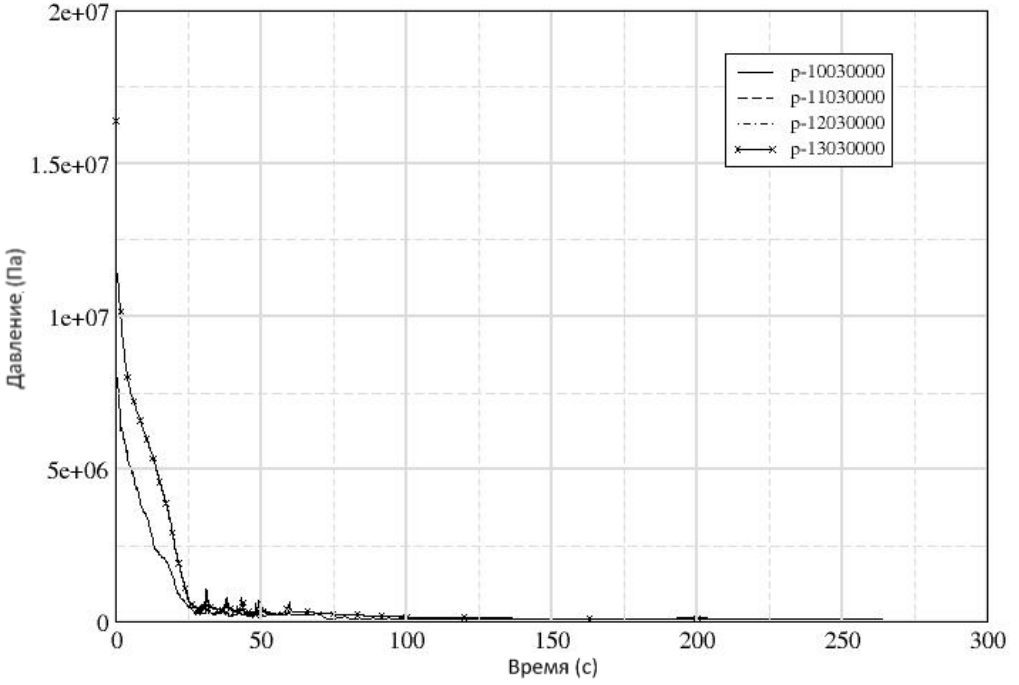


Рис. 8. Давление теплоносителя в опускной камере по квадрантам

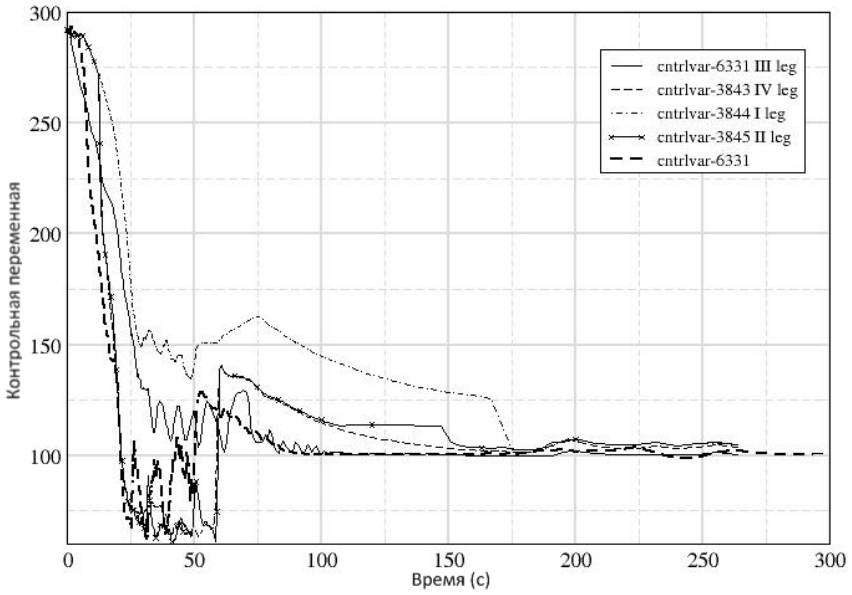


Рис. 9. Температура на входе в реактор

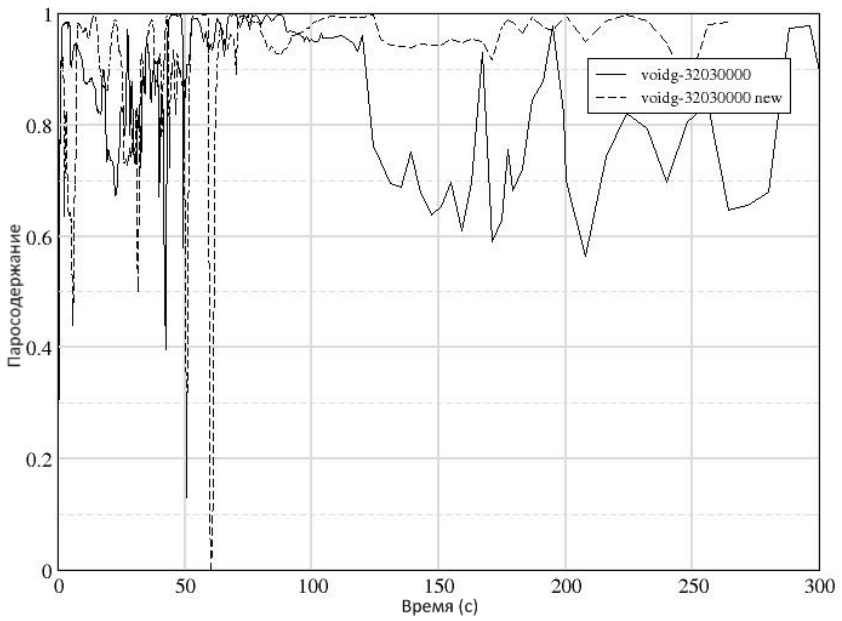


Рис. 10. Паросодержание на входе в «горячую» кассету

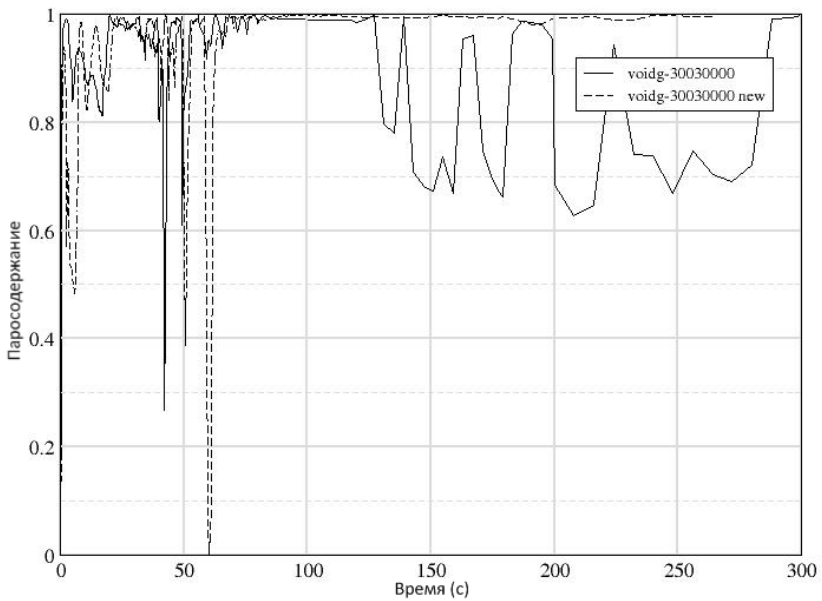


Рис. 11. Паросодержание на входе в АкЗ базовой расчетной схемы и II-го квадранта новой расчетной схемы

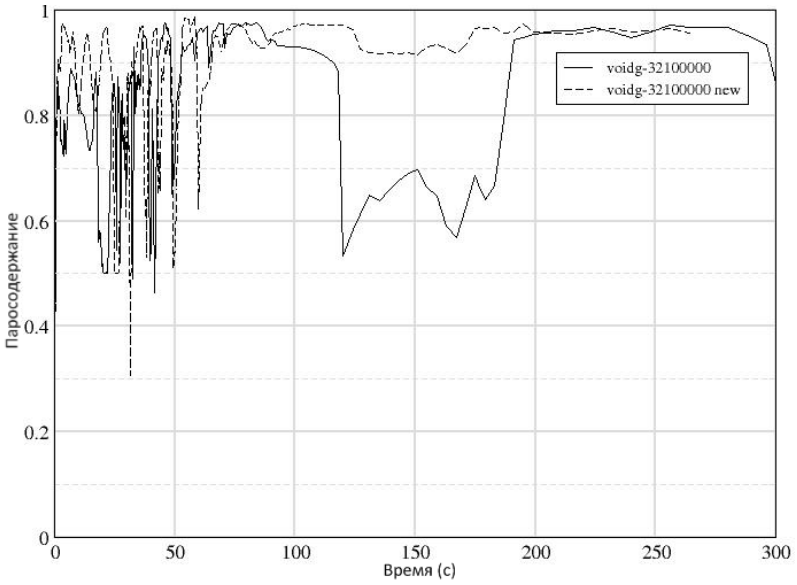


Рис. 12. Паросодержание на выходе из «горячей» кассеты

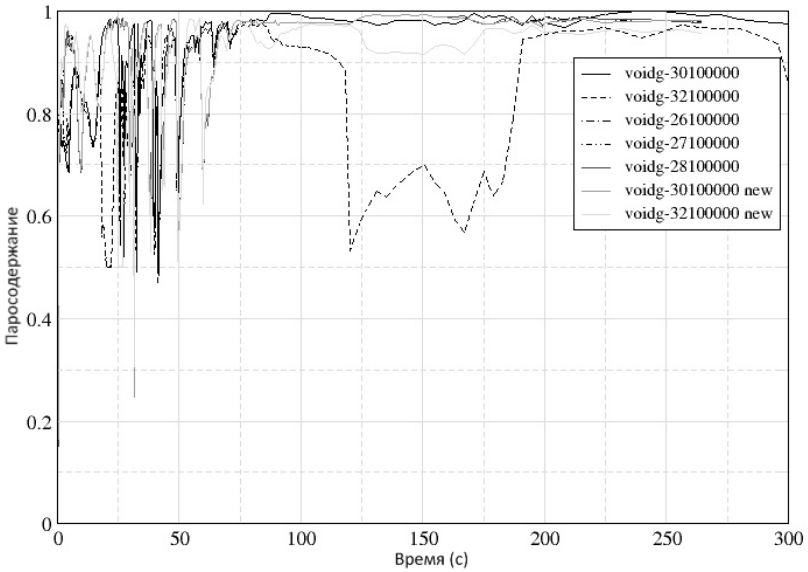


Рис. 13. Паросодержание на выходе из АкЗ

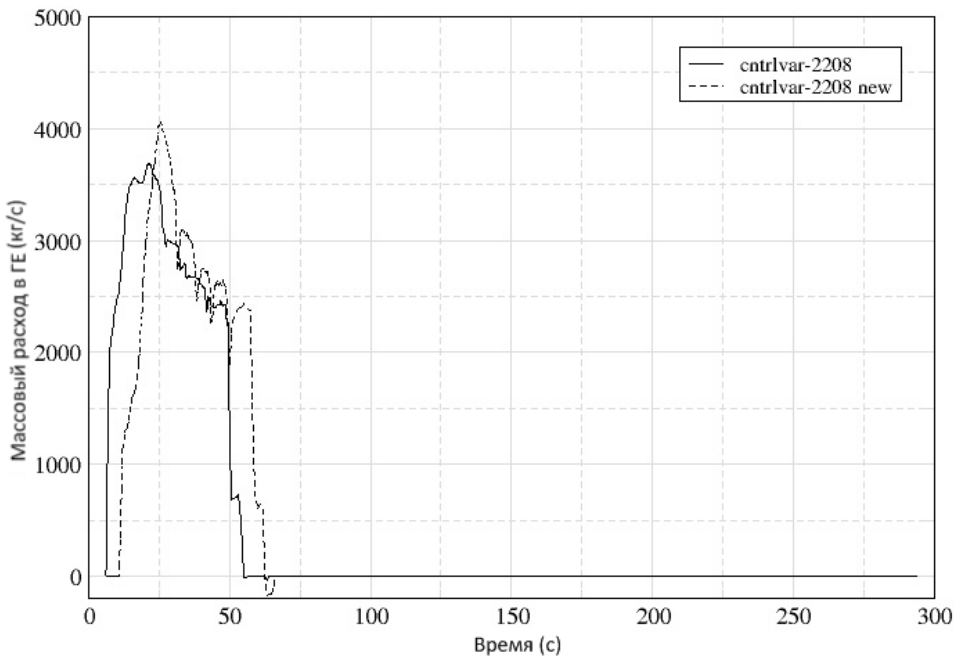


Рис. 14. Массовый расход ГЕ

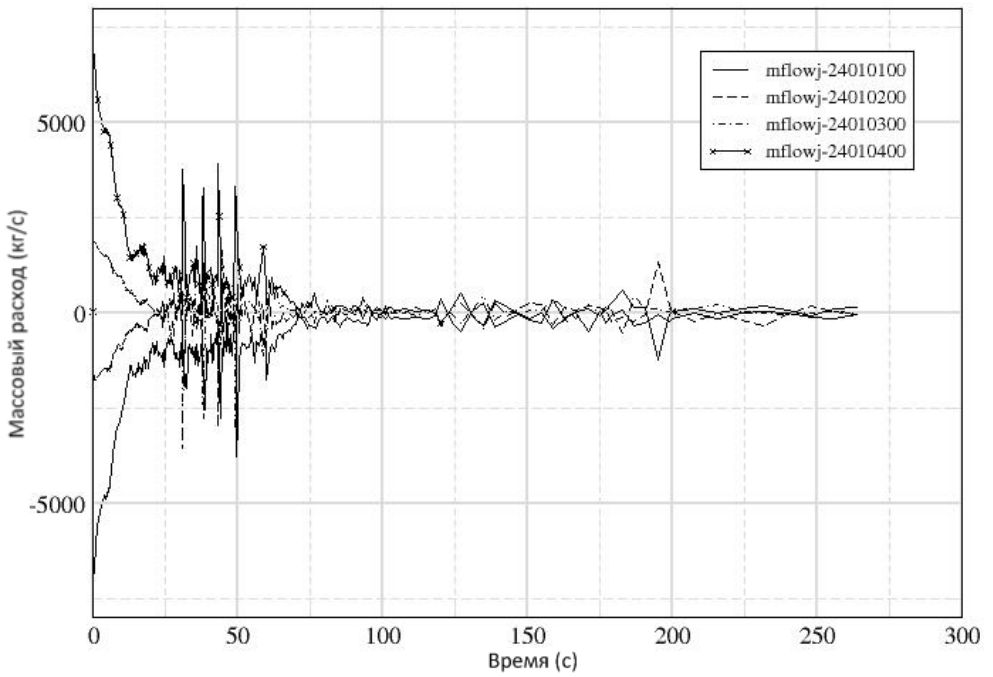


Рис. 15. Переток теплоносителя в области нижней камеры смешения

В результате потери теплоносителя происходит значительное снижение давления первого контура (Рисунок 7). «Новая» расчетная схема позволяет проследить изменение теплофизических характеристик в каждом квадранте реакторной установки, следовательно, можно отметить, что более резкое изменение давления происходит в аварийной петле (Рисунок 8). Также следует обратить внимание, что гидроемкости срабатывают несколько позже (Рисунок 14). Это обусловлено динамикой изменения давления. Видно (Рисунок 10 – 11, 13), что в данном процессе происходит кипение теплоносителя в активной зоне реактора. Базовая расчетная схема на 120сек. отображает снижение паросодержания на выходе из «горячей» кассеты, так как теплофизические параметры теплоносителя усредненные по АкЗ, в то время, как измененная схема учитывает локальные характеристики среды в каждом квадранте, и как следствие, показывает интенсивное постоянное кипение на выходе «горячей» кассеты (Рисунок 12).

Температуры в опускном участке в базовой и «новой» расчетных схемах после 175сек. практически совпадают (Рисунок 9), вследствие усреднения (в базовой) и перемешивания потоков (в «новой»). Но на первых секундах развития аварийного процесса модифицированная расчетная схема позволяет оценить локальные температуры теплоносителя в разных частях опускного участка, соответствующих определенной петле, а также в нижней камере смешения и непосредственно в АкЗ.

Так как на начальном этапе развития переходного процесса давление в аварийной петле ниже, чем в остальных, то в области нижней камеры смешения происходит переток теплоносителя (рисунок 15), под действием градиента давления, в аварийный квадрант (смоделированным гидродинамическим элементом 020) из смежных (смоделированных гидродинамическим элементом 023 и 021). А в свою очередь в ГЭ 021 и ГЭ 023 из ГЭ 022.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

Для модифицированной расчетной схемы реактора В-320 был проведен валидационный расчет, который подтвердил, что расчетная схема адекватно отражает физические процессы, происходящие на РУ, а также работу систем и оборудования энергоблока.

С использованием «базовой» и «новой» расчетных схем проведено исследование исходного события аварии «Двухсторонний разрыв ГЦТ». Разработанная расчетная схема, с учетом разделения перемешивания потока теплоносителя в опускном участке, нижней камере смешения и активной зоне абсолютно четко показывает, что в результате возникновения гильотинного разрыва холодной нитки ГЦТ происходит полное вскипание теплоносителя в «аварийной» части активной зоны. «Новая» расчетная схема позволяет проследить изменение теплофизических характеристик теплоносителя в каждом квадранте реакторной установки, как следствие, можно отметить более резкое изменение давления в аварийной петле.

Следует обратить внимание, что для целей определения параметров среды в гермообъеме, мы получаем большие выносы массы и энергии в начальный момент аварии. Получаем более высокое значение пика температуры оболочки твэл. В то время, как осредненные параметры, которые характеризуют протекающий процесс, достаточно хорошо согласуются между собой, локально же мы имеем существенные недооценки параметров в «аварийной» части активной зоны. Как следствие, недооценка температуры оболочки твэл и параметров среды, которые выносятся в течь.

Таким образом, крайне важным является продолжение работ, связанных с исследованием влияния самой расчетной схемы на характер описания исследуемых переходных процессов. Это даст возможность сформировать корректный подход к исследованию тех или иных переходных процессов, которые могут иметь место на энергоблоках АЭС, повысить адекватность расчетов по анализу проектных аварий и, тем самым говорить о повышении уровня работ по ВАБ и безопасности энергоблоков в целом.

ЛИТЕРАТУРА

1. RELAP5/Mod3 Code Manual – Input Requirements, Vol.2. NUREG/CR-5535, INEL-95/0174, INEL. 1995.
2. Безруков Ю.А., Драгунов Ю.Г., Логвинов С.А., Ульяновский В.Н. (ОКБ «Гидропресс»). Исследование перемешивания потоков теплоносителя в корпусе ВВЭР. – ж-л Атомная энергия, Т.96, Выпуск 6, июнь 2004г.
3. Хмельницкая АЭС. Энергоблок №1. №1ХМЭ-П05-05-11-97. Отчет о расследовании нарушения в работе АЭС.
4. Описание расчетной модели ЯППУ для кода RELAP5/MOD3.2, 0635WA0R.01-08.doc, июль, 2003.
5. Проект углубленного анализа безопасности энергоблока №1 Хмельницкой АЭС. Разработка, верификация и валидация модели 1 блока ХАЭС для кода RELAP5 для выполнения ВАБ и анализа Проектных аварий. 0634WD0.