

УДК 621.039.5

**Использование опыта создания и эксплуатации одноконтурных реакторов
с кипением и ядерным перегревом теплоносителя
для проектирования реакторов со сверхкритическими параметрами теплоносителя**

В.М. Махин, В.А. Пиминов, В.П. Семишкин, А.Н. Чуркин, И.А. Чусов, А.В. Лапин,
АО ОКБ “ГИДРОПРЕСС”, 142103, Подольск, Московская обл., ул. Орджоникидзе, д. 21

Рассмотрен опыт создания и эксплуатации одноконтурных установок с кипящим теплоносителем и с ядерным перегревом пара и прямой подачей перегретого пара в турбину (реакторы ВК-50, РБМК, АМБ-100 и АМБ-200) применительно к его использованию при создании водоохлаждаемого реактора со сверхкритическими параметрами теплоносителя (SCWR). Рассмотрен также водно-химический режим энергоблоков в тепловой энергетике и одноконтурных реакторных установок, обеспечивающий сравнительно малые отложения на поверхностях проточной части турбины, а также вопросы радиационной обстановки и дезактивации контура.

Ключевые слова: водоохлаждаемый реактор, закритические параметры, перегрев пара в реакторе, эксплуатация, водно-химический режим.

УДК 621.039.51

**Разработка и тестирование интерполяционной процедуры,
сохраняющей порядок точности конечно-элементной LD-схемы
при стыковании тетраэдров не по вершинам**

А.А. Николаев,
АО ОКБ “ГИДРОПРЕСС”, 142103, Подольск, Московская обл., ул. Орджоникидзе, д. 21

Представлены результаты разработки и тестирования интерполяционной процедуры для использования при расчётах с использованием LD-схемы для тетраэдров, состыкованных не по вершинам.

Ключевые слова: LD-схема, тетраэдры, интерполяционная процедура, стыкование не “узел-в-узел”.

УДК 621.039

**Экспериментальные исследования локальных полей скоростей теплоносителя
в пучке ТВЭЛОВ**

Д.В. Зайцев, Е.А. Лисенков, А.В. Селезнев, А.Н. Чуркин, М.М. Курносов,
АО ОКБ “ГИДРОПРЕСС”, 142103, Подольск, Московская обл., ул. Орджоникидзе, д. 21,
С.Г. Скрипкин, М.А. Цой, А.В. Бильский,
Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН, 630090, Новосибирск, проспект Академика
Лаврентьева, д. 1

В статье представлены краткое описание экспериментальной установки, методики проведения экспериментов, а также результаты экспериментальных исследований локальных полей скоростей теплоносителя в пучке ТВЭЛОВ при однофазном течении. Эксперименты проводились в АО ОКБ

“ГИДРОПРЕСС” на полномасштабной в поперечном сечении модели ТВС. Результаты экспериментов предназначены для верификации CFD-кодов.

Ключевые слова: локальные параметры теплоносителя, пучок твэлов, тепловыделяющая сборка.

УДК 621.039.56

**Анализ выполнения принципа "контролируемая эксплуатация"
для ГЦТ и соединительного трубопровода
при внедрении концепции “Течь перед разрушением” (ТПР) на энергоблоках с ВВЭР-
1200**

А.В. Богачев, В.Я. Беркович, А.В. Меркун, Д.Б. Муравин,
АО ОКБ “ГИДРОПРЕСС”, 142103, Подольск, Московская обл., ул. Орджоникидзе, д. 21,

Принцип “контролируемая эксплуатация” для главного циркуляционного трубопровода (ГЦТ), соединительного трубопровода (СТ) в соответствии с ГОСТ Р 58328-2018 требует мониторинга условий их эксплуатации в части параметров эксплуатации, механических (от перемещения) и общих температурных нагрузок. В части диагностических систем необходимо обеспечить выполнение в on-line режиме контроля термопульсаций, термоударов теплоносителя на патрубках ГЦТ, СТ, контроля стратификации теплоносителя в ГЦТ, СТ, контроля нагрузок на ГЦТ и СТ от перемещений оборудования, контроля общих температурных напряжений. В части расчёта ресурсных характеристик необходимо обеспечить выполнение в off-line режиме расчёта мало- и многоциклового усталости и расчёта усталостного роста дефектов в процессе эксплуатации.

Ключевые слова: накопленное повреждение, стратификация, оборудование и трубопроводы, реакторная установка, перемещение оборудования, система контроля гидроамортизаторов, управление старением.

УДК 621.039.58

**Валидация кода КОРСАР/ГП по результатам испытаний действующего энергоблока
РУ ВВЭР
в суточном графике несения маневренной нагрузки**

А.Л. Николаев, М.А. Увакин, М.В. Антипов, И.В. Махин, Е.В. Сотсков,
АО ОКБ “ГИДРОПРЕСС”, 142103, Подольск, Московская обл., ул. Орджоникидзе, д. 21

На этапе обоснования безопасности действующего энергоблока ВВЭР большой мощности в суточном графике несения маневренной нагрузки были выполнены расчёты маневренных режимов в максимально возможном соответствии с методикой маневрирования и утверждённой программой испытаний. Для проведения расчётов применялся код КОРСАР/ГП с трёхмерной моделью нейтронной кинетики. Успешное проведение испытаний суточного графика маневрирования для конца кампании топливной загрузки позволило использовать полученные экспериментальные данные для подготовки к проведению валидации на основе предтестовых расчётов с целью повышения точности при использовании кода КОРСАР/ГП для решения подобных задач в дальнейшем. Представленные результаты являются первой частью работы по применению кода КОРСАР/ГП для обоснования безопасности РУ ВВЭР с учётом маневренных режимов. Этап валидации является текущей актуальной задачей и будет дополняться по мере получения новых результатов.

Ключевые слова: суточный график нагрузки, маневрирование мощностью, КОРСАР/ГП, РУ ВВЭР, валидация кода, повышение точности расчётной модели.

УДК 621.039.58

Кроссверификация кода КОРСАР/ГП и CFD-кода для условий двухсекционного приреакторного бассейна выдержки

М.М. Бедретдинов, В.Е. Карнаухов, О.Е. Степанов,

АО ОКБ “ГИДРОПРЕСС”, 142103, Подольск, Московская обл., ул. Орджоникидзе, д. 21

Выполнены тестирование, верификация и валидация CFD-модели теплообмена и конвекции в однофазной области с использованием эмпирических корреляций и экспериментальных данных. Проведено сравнение результатов расчётов по CFD-модели двухсекционного бассейна выдержки (БВ) и по коду КОРСАР/ГП для условий нормальной эксплуатации и при аварии с потерей охлаждения бассейна выдержки — от начала аварии до момента начала кипения. Показано как качественное, так и хорошее количественное совпадение результатов расчётов для разных моментов времени. Результаты работы предназначены для использования при дополнительной верификации кода КОРСАР/ГП в части особенностей распределения параметров в бассейне выдержки, набор доступных экспериментальных данных по которым к настоящему времени крайне ограничен.

Ключевые слова: бассейн выдержки, CFD, потеря охлаждения, системы безопасности, ВВЭР, естественная конвекция, теплообмен.

УДК 621.039.58

Разработка окончательного перечня запроектных аварий для блока 4 Балаковской АЭС

М.Ю. Ланкин,

АО “РАОС Проект”, 194044, Санкт-Петербург, Выборгская набережная, д. 45, литер Е,

К.В. Цветков, С.И. Пантюшин,

АО ОКБ “ГИДРОПРЕСС”, 142103, Подольск, Московская обл., ул. Орджоникидзе, д. 21,

И.А. Мельников,

НИЦ “Курчатовский институт”, 123182, Москва, пл. Академика Курчатова, д. 1,

А.П. Колеватых,

АО “Концерн Росэнергоатом”, 109507, Москва, ул. Ферганская, д. 25,

Р.Д. Луцюк,

Балаковская АЭС, 413801, Балаково, Саратовская обл.

В “Общих положениях обеспечения безопасности атомных станций” НП-001-15 установлено, что для определения мер по управлению запроектными авариями требуется выполнить анализ сценариев, включаемых в разрабатываемый для конкретного блока атомной станции (АС) окончательный перечень запроектных аварий. Указанный перечень должен отвечать ряду требований и прежде всего требованию представительности, т.е. содержать сценарии, анализа которых достаточно для определения стратегий по управлению любой возможной аварией, сколь бы маловероятной она ни была. Ростехнадзором в 2018 г. введено в действие руководство по безопасности РБ-150-18, содержащее рекомендации и примерный алгоритм формирования окончательного перечня ЗПА1. На основе представленных в указанном руководстве подходов такой перечень был разработан для блока 4 Балаковской АЭС (ВВЭР-1000/В-320) — это стало первым опытом применения РБ-150-18 на практике. Настоящая статья представляет результаты этой работы.

Ключевые слова: запроектные аварии, тяжёлые аварии, представительность.

УДК 621.039

Расчётное исследование теплогидравлических характеристик блок-контейнеров для наработки ⁹⁹Mo

Д.А. Пахолик¹, О.Ю. Кочнов^{1,2}, И.А. Чусов^{2,3}, В.В. Колесов^{2,4},

¹ АО “НИФХИ им. Л.Я. Карпова”, 249033, Обнинск, Калужская обл., Киевское шоссе, д. 6,

² ИАТЭ НИЯУ МИФИ, 249040, Обнинск, Калужская обл., Студгородок, 1,

³ АО ОКБ “ГИДРОПРЕСС”, 142103, Подольск, Московская обл., ул. Орджоникидзе, д. 21,

⁴ НИЦ “Курчатowski институт”, 123182, Москва, пл. Академика Курчатова, д. 1

В работе представлено расчётное исследование теплогидравлических характеристик мишеней для наработки ⁹⁹Mo, а именно численное моделирование течения циркуляционной воды в экспериментальном канале реактора ВВР-ц при размещении в нём различных моделей блок-контейнеров с урансодержащим материалом. В расчёте рассматривались четыре варианта блок-контейнеров. Режим работы экспериментального канала для всех моделей задавался исходя из стандартной кампании реактора ВВР-ц. В результате теплогидравлического расчёта были получены поля скорости, температуры и давления циркуляционной воды, температуры стенок блок-контейнеров и матрицы урансодержащей смеси для всех рассмотренных моделей. Сделаны выводы об оптимальной с точки зрения теплогидравлики конструкции мишени.

Ключевые слова: реактор ВВР-ц, блок-контейнер, теплогидравлические характеристики, экспериментальный канал.

УДК 621.039

Расчётное обоснование возможности продления срока эксплуатации модулей парогенератора энергоблока № 3 Белоярской АЭС

А.А. Халутин, С.Л. Лякишев, М.Д. Лякишева, А.Н. Блохина, Н.В. Шарый,

АО ОКБ “ГИДРОПРЕСС”, 142103, Подольск, Московская обл., ул. Орджоникидзе, д. 21

В статье приведён обзор работ, выполненных АО ОКБ “ГИДРОПРЕСС” для обоснования возможности продления ресурса модулей парогенератора ПГН 200М энергоблока БН-600 на периоды эксплуатации 2010–2025 и 2025–2040 гг.

Ключевые слова: продление срока службы, модуль, наработка, парогенератор, ресурс, исследования конструкционных материалов.

УДК 621.039.58

Риск-ориентированный подход в методологии управления ресурсом

О.М. Гулина, А.В. Меркун, В.П. Семишкин,

АО ОКБ “ГИДРОПРЕСС”, 142103, Подольск, Московская обл., ул. Орджоникидзе, д. 21

Назначение риск-ориентированного подхода (РОП в соответствии с НП-089-15) заключается в рассмотрении и управлении рисками на уровне элементов трубопроводов, что позволяет оптимизировать программы контроля металла для снижения затрат с сохранением и даже повышением безопасности. При этом в процедурах РОП оценивается как значимость элемента для обеспечения безопасности установки, так и определение риска дальнейшего использования элемента по его техническому состоянию. Рассмотрены источники стохастичности при описании процессов повреждения, определяющих ресурс. Приведены примеры определения классов риска и получены оценки частот отказов для трубопроводов в условиях эрозионно-коррозионного износа (ЭКИ) и для теплообменных трубок парогенератора (ТОТ ПГ).

Ключевые слова: механизм деградации, программа контроля, вероятностная модель, функция распределения, матрица рисков, трубопровод, вероятность обнаружения дефекта, частота отказов.