

**Аннотации статей**  
**журнала “Вопросы атомной науки и техники. Серия: Физика ядерных реакторов”,**  
**вып. № 2, 2020 г.**

УДК 621.039.577; 621.039.003

**Целевые показатели АЭС для обеспечения конкурентоспособности на мировом рынке**

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

Рассматриваются целевые показатели АЭС для использования при конструировании реакторной установки и проектировании АЭС: LCOE и TCIC и индикативные показатели. Первый показатель определяет условия “безубыточности” АЭС за время её эксплуатации. Второй показатель необходим для снижения стоимости капитальных вложений. Подтверждены условия конкурентоспособности: LCOE должно быть менее LCOE действующих установок; TCIC — менее  $0,8 TCIC_{\text{минимум}}$  действующих АЭС. Предлагаются индикативные показатели (индикаторы) для выполнения обязательных для исполнения (императивных) показателей.

**Ключевые слова:** реактор, станция атомная, конкурентоспособность, себестоимость.

УДК 621.039.51

**Исследование свойств DDL-схем метода дискретных ординат применительно к расчёту двумерных сеточных задач из произвольных четырёхугольников**

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

Представлены результаты оценки погрешности двумерных DDL-схем метода дискретных ординат для произвольных четырёхугольных ячеек.

**Ключевые слова:** DDL-схемы, произвольные четырёхугольники, методическая погрешность.

УДК 621.039.58

**Анализ результатов расчёта режима с разрывом паропровода РУ ВВЭР в потвэльном приближении с использованием ПК КОРСАР/ГП**

***А.И. Синегрибова, М.А. Увакин,***  
АО ОКБ “ГИДРОПРЕСС”, 142103, Подольск, Московская обл., ул. Орджоникидзе, д. 21

Одной из определяющих аварий в обосновании безопасности РУ ВВЭР является авария с разрывом паропровода. На первой, начальной стадии процесса в результате исходного события начинается истечение пароводяной смеси второго контура в “течь”, что приводит к быстрому снижению давления во втором контуре и увеличению теплового потока, отводимого от первого. В результате этого температура теплоносителя на входе в активную зону снижается и вызывает рост мощности за счёт действия обратных связей. На этой стадии аварии достигаются максимальные значения температуры и удельной энтальпии топлива. Срабатывание аварийной защиты переводит реактор в подкритическое состояние. В данной работе моделировалась первая стадия аварии. Была проведена оценка максимальных значений температуры и энтальпии топлива с помощью потвэльной модели ТВ С. Результаты сравнивались с результатами, полученными в приближении “горячего канала”. Расчёты проведены для разного исходного состояния установки. Рассмотрены реалистичное и консервативное начальное состояния РУ. Разработаны рекомендации по использованию потвэльной модели ТВС для данной аварии.

**Ключевые слова:** потвэльная модель ТВС, КОРСАР/ГП, РУ ВВЭР, разрыв паропровода, реалистичное приближение, консервативное приближение.

УДК 620.193.4 + 519.216.3

### **Использование статистических процедур при оценивании количества заглушенных трубок парогенератора**

**О.М. Гулина, Н.С. Романчук, А.В. Меркун,**

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

Управление ресурсом (УР) парогенератора требует разработки методов прогнозирования количества заглушенных теплообменных труб парогенераторов (ЗТОТ ПГ) с использованием различных подходов — как физико-статистических, так и просто статистических. В настоящей работе предлагается методика прогнозирования количества ЗТОТ ПГ АЭС с ВВЭР-1000/1200 на основе распределения Вейбулла. Обоснованы и разработаны алгоритмы методики прогнозирования и получены оценки коэффициентов распределения Вейбулла методом максимального правдоподобия (ММП) и методом наименьших квадратов (МНК) по статистическим данным о ЗТОТ ПГ. Построены регрессионные кривые по данным о глушениях, для которых вычислены 95%-ные доверительные интервалы. Приведено сравнение результатов прогноза с моделью на основе регрессии. Показано, что оценки по Вейбуллу становятся излишне консервативными при интервале прогноза более 5 лет.

**Ключевые слова:** теплообменные трубки, парогенератор, метод максимального правдоподобия, метод наименьших квадратов, расчёт коэффициентов распределения Вейбулла, статистическая регрессия.

УДК 620.193.5

### **Расчётно-экспериментальное обоснование полуэмпирических соотношений для определения термодинамических и транспортных свойств жидкого висмута**

**Г.Е. Новиков, Н.А. Обысов,**

ГК “Росатом”, 119017, Москва, ул. Большая Ордынка, д. 24,

**И.А. Чусов,**

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

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

**Ю.А. Бабаева,**

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

На основании расчётного анализа опытных данных, приведённых в 78 экспериментальных работах, выполненных в нашей стране и за рубежом за период с 1950 по 2019 г., предложены новые расчётные соотношения для оценки плотности, коэффициента теплопроводности, коэффициента поверхностного натяжения, скорости звука, коэффициента теплоёмкости, удельного электрического сопротивления и коэффициента динамической вязкости жидкого висмута. Приведены величины погрешностей предложенных соотношений и диапазон их применимости. Статья подготовлена по результатам работы Центра данных термодинамических свойств (ЦДТС) ГК “Росатом”.

**Ключевые слова:** висмут, теплоноситель, плотность, теплопроводность, теплоёмкость, вязкость, термодинамические свойства, транспортные свойства.

УДК 621.039

**Экспериментальные исследования повторного залива активной зоны на модели ТВС-2М с перемешивающими решётками**

*Е.А. Лисенков, А.Н. Чуркин, Ю.А. Безруков, А.В. Селезнев,*  
АО ОКБ “ГИДРОПРЕСС”, 142103, Подольск, Московская обл., ул. Орджоникидзе, д. 21,  
*Д.В. Мальчевский,*  
АО “ТВЭЛ”, 115409, Москва, Каширское шоссе, д. 49

В статье представлены описание экспериментальной установки, методики проведения экспериментов, а также результаты экспериментальных исследований, моделирующих процессы повторного залива активной зоны ВВЭР-1000 в условиях аварии “большая” течь при использовании ТВС-2М как с перемешивающими решётками (ПР) “Вихрь” и “Прогонка”, так и без них. Эксперименты проводились в ОКБ “ГИДРОПРЕСС” на 127-стержневой модели кассеты. По результатам экспериментов проведена сравнительная оценка влияния ПР “Вихрь” и “Прогонка” на динамику повторного залива активной зоны.

**Ключевые слова:** экспериментальные исследования, повторный залив, перемешивающие решётки, тепловыделяющая сборка.

УДК 621.039

**Экспериментальные исследования перемешивания теплоносителя в пучке твэлов**

*Е.А. Лисенков, А.Н. Чуркин, Ю.А. Безруков, А.В. Селезнев,*  
АО ОКБ “ГИДРОПРЕСС”, 142103, Подольск, Московская обл., ул. Орджоникидзе, д. 21,  
*Д.В. Мальчевский,*  
АО “ТВЭЛ”, 115409, Москва, Каширское шоссе, д. 49

В статье представлены описание экспериментальной установки, методики проведения экспериментов, а также результаты экспериментальных исследований, моделирующих процессы межячейкового перемешивания в пучке твэлов в однофазном потоке теплоносителя. Эксперименты проводились в ОКБ “ГИДРОПРЕСС” на стенде перемешивания в ТВС с полномасштабной по поперечному сечению моделью кассеты. По результатам экспериментов проведена оценка интенсивности естественного межячейкового обмена в пучке твэлов при однофазном течении в сравнении с гидравлически изолированной ячейкой, моделирующей расчётное допущение “горячая струя”.

**Ключевые слова:** перемешивание теплоносителя, однофазный поток, тепловыделяющая сборка.

УДК 621.039. 58

**Испытания макетов поглощающих элементов с карбидом бора в оболочках из хромоникелевого сплава ЭП-630У в условиях кризиса охлаждения**

*В.Д. Рисованный,*  
АО “Наука и инновации”, 115035, Москва, ул. Кадашевская набережная, д. 32/2, стр. 1

Рассматриваются условия и результаты реакторных испытаний макетов поглощающих элементов ВВЭР с оболочкой из хромоникелевого сплава и поглотителем — карбидом бора в виде порошка и таблетки. Температурный режим соответствовал условиям, близким к режимам с нарушением нормальной эксплуатации и аварийным. При анализе результатов использовались данные ранее выполненных испытаний облучённых твэлов с аналогичной оболочкой из 42ХНМ.

**Ключевые слова:** элемент поглощающий, сплав хромоникелевый, карбид бора, надёжность.

УДК 621.039.524:691.714.018.8

**Результаты термических испытаний облучённых твэлов  
с оболочками из сплава 42ХНМ**

**Г.В. Кулаков, Ю.В. Коновалов, А.В. Ватулин, А.А. Косауров,**

АО “ВНИИНМ”, 123098, Москва, ул. Рогова, д. 5а,

**В.Ю. Шишин, А.А. Шельдяков,**

АО “ГНЦ НИИАР”, 433507, Димитровград, Ульяновская обл., Западное ш., д. 9,

**А.И. Романов, О.А. Морозов, О.Б. Самойлов,**

АО “ОКБМ Африкантов”, 603074, Нижний Новгород, Бурнаковский пр., д. 15

В АО “ГНЦ НИИАР” были проведены термические испытания укороченных твэлов с оболочками из хромоникелевого сплава 42ХНМ, предварительно облучённых в облучательном устройстве “Гирлянда” реактора МИР до накопления осколков деления  $0,9 \text{ г/см}^3$ . Определён механизм разгерметизации твэлов. Разгерметизация связана с изменениями, происходящими в сердечнике твэлов при повышенных температурах, тогда как в оболочке из 42ХНМ при выдержке при  $600 \text{ }^\circ\text{C}$  в течение 1 ч структурных изменений практически не происходит. Получена зависимость, позволяющая оценить, произойдёт ли разгерметизация твэла при данной температуре, и если произойдёт, то оценить время до разгерметизации.

**Ключевые слова:** термические испытания, хромоникелевый сплав, твэл, оболочка, 42ХНМ.

УДК 536.24 (063)+621.181.6

**Исследования теплообмена при сверхкритическом давлении воды,  
проводимые в ГНЦ РФ – ФЭИ**

**А.П. Сорокин, П.Л. Кириллов, Ю.А. Кузина, В.А. Грабежная, В.М. Лоцинин,**

АО “ГНЦ РФ — ФЭИ”, 249033, Обнинск, Калужская обл., пл. Бондаренко, 1

Представлен краткий обзор работ по теплообмену при сверхкритическом давлении (СКД) в круглых трубах и пучках стержней, выполненных в разное время в ГНЦ РФ — ФЭИ. Приведены описание и технические характеристики теплогидравлических стендов, на которых проводились исследования теплообмена при сверхкритических параметрах воды в круглых трубах (СВД-1 и СВД-2) и сверхкритических параметрах фреона-12 (СТФ). Представлены и обсуждаются технический подход и методология планируемых экспериментальных исследований гидродинамики и теплообмена при СКД.

**Ключевые слова:** ядерный реактор, сверхкритическое давление, экспериментальные исследования, теплофизические стенды, труба, пучок твэлов, вода, фреон, гидравлическое сопротивление, теплоотдача, режимы теплообмена, граница ухудшенного теплообмена.