MNDDO9 OSTDSWEO BOH9BR

УДК 621.039.526

РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ УСЛОВИЙ УСТОЙЧИВОГО ТЕПЛООБМЕНА ПРИ ВОЗНИКНОВЕНИИ КИПЕНИЯ ЖИДКОГО МЕТАЛЛА В РЕЖИМЕ АВАРИЙНОГО РАСХОЛАЖИВАНИЯ БЫСТРОГО РЕАКТОРА

А.П. Сорокин, А.Д. Ефанов, Е.Ф. Иванов, Д.Е. Марцинюк, Г.П. Богословская, К.С. Рымкевич, В.Л. Мальков ГНЦРФ-Физико-энергетический институт им. А.И. Лейпунского, г. Обнинск



Представлены описания экспериментальной установки, датчиков и методик измерений, экспериментальные данные по исследованию кипения жидкометаллического теплоносителя в модели тепловыделяющей сборки быстрого реактора в режимах аварийного расхолаживания с малыми скоростями циркуляции. Анализируются физика, характеристики и устойчивость наблюдавшихся в экспериментах различных режимов кипения (пузырьковый, снарядный, дисперсно-кольцевой), в результате чего была получена картограмма режимов кипения жидкого металла. Приведены описание математической модели процесса кипения жидкометаллического теплоносителя в контуре естественной циркуляции и результаты тестовых расчетов для режимов с повышением энерговыделения и при резком сбросе давления.

ВВЕДЕНИЕ

Проблемам, связанным с кипением щелочных металлов, на протяжении последних трех десятилетий уделялось большое внимание [1, 2]. Изучались теплоотдача, режимы течения, гидравлическое сопротивление, кризисы теплоотдачи, начальные перегревы, механизм процесса кипения, вопросы его устойчивости. Результаты этих исследований показывают, что в сравнении с кипением воды процесс кипения жидких металлов имеет существенные особенности, к которым можно отнести следующие:

[©] А.П. Сорокин, А.Д. Ефанов, Е.Ф. Иванов, Д.Е. Марцинюк, Г.П. Богословская, К.С. Рымкевич, В.Л. Мальков, 1999

^{*} Доклад на X Международной конференции Ядерного общества России (Обнинск, 28 июня-2 июля 1999 г.)

MNOOOG OBTOSMED BOHGSAR 🛞

- в реальных условиях взаимодействие отдельных факторов оказывается настолько сложным, что начальный перегрев для вскипания жидких металлов трудно точно прогнозировать;
- у щелочных металлов образуются пузыри достаточно больших размеров на ограниченном числе центров парообразования, основная часть времени цикла образования пузыря приходится на период ожидания;
- рост парового пузыря щелочного металла носит взрывообразный характер; скорости роста пузыря имеют порядок 10 м/с;
- основные режимы течения двухфазных потоков щелочных металлов те же, что и у обычных теплоносителей; при давлении, близком к атмосферному, преобладает дисперсно-кольцевой режим течения;
- фазовый переход при дисперсно-кольцевом течении щелочных металлов в каналах, как правило, осуществляется испарением с поверхности пристенной пленки жидкого металла без образования пузырьков (кипения) на стенке, эффективные коэффициенты теплоотдачи при этом достигают сотен кВт/м².

Акцент в исследованиях кипения жидких металлов в тепловыделяющих сборках твэлов быстрых реакторов сделан в сторону анализа переходных и аварийных режимов, вызванных резким увеличением мощности и различного рода блокадами проходного сечения активной зоны, остановом циркуляционного насоса (при наличии выбега ротора и без него). Существуют лишь ограниченные данные по кипению в пучках для режимов с малыми скоростями течения теплоносителя (или при естественной конвекции).

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ

Экспериментальная установка для проведения исследований кипения эвтектического натрий-калиевого сплава (22% Na + 78% K) в условиях естественной конвекции (рис.1) содержит два вертикальных канала высотой 3 м, соединенных между собой вверху и внизу и образующих соответственно опускную и подъемную ветви контура циркуляции. В нижней части подъемного канала расположен рабочий участок, содержащий семистержневую сборку имитаторов твэлов. Сборка состоит из 7 имитаторов и 12 стержней-вытеснителей, расположенных в треугольной решетке с относительным шагом s/d=1.185 и заключенных в трубу из нержавеющей стали 50×1.5 мм длиной 3 м.

Имитаторы твэлов представляют собой калиброванные трубки заводского изготовления из нержавеющей стали марки X18H10 диаметром 8×1 мм, внутри которых установлены спиральные нагреватели из молибденовой проволоки диаметром 1 мм. Диаметр спирали 4 мм, длина 420 мм. Зазор между нагревателями и оболочками имитаторов заполнен порошком из плавленой окиси магния.

Оснащение модельной сборки ТВС значительным количеством измерительных каналов, содержащих различные первичные преобразователи (датчики) (рис.1), позволило получить обширный экспериментальный материал для исследования процесса кипения жидкометаллического теплоносителя в сборке электрообогреваемых имитаторов твэлов.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Проведена серия экспериментов по исследованию процесса кипения эвтектического натрий-калиевого сплава в модели тепловыделяющей сборки быстрого

MUSSON OSTSSMED SOHISER W

реактора в режимах естественной конвекции при различных массовых скоростях потока вследствие изменения гидравлического сопротивления контура циркуляции с использованием дроссельного устройства. Методика проведения экспериментов состояла в том, что при неподвижном теплоносителе в контуре увеличивалась тепловая мощность тепловыделяющей сборки и начиналось естественное конвективное движение теплоносителя. При этом начиналось движение теплоносителя под действием естественной конвекции. По мере увеличения тепловой мощности сборки увеличивалась температура теплоносителя, пока не достигалась температура насыщения в зоне обогрева и начинался процесс кипения (рис.2). Существовали три самостоятельных режима кипения:

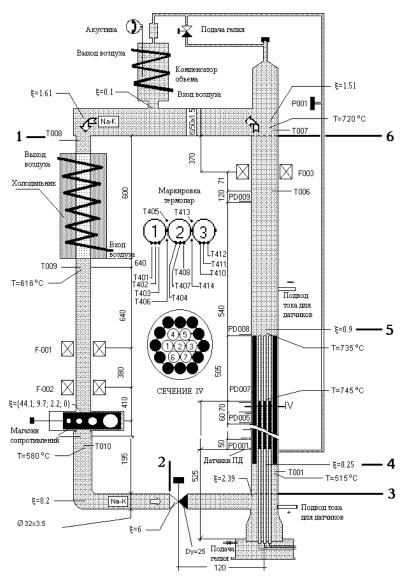


Рис.1. Схематическое изображение экспериментальной модели

OBULECTBO **SOHPERE POCCUM**

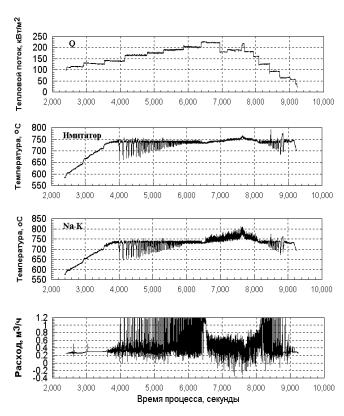


Рис. 2. Плотность теплового потока, температура имитатора и теплоносителя на выходе из зоны энерговыделения и объемный расход теплоносителя в эксперименте с дроссельной шайбой d=20 MM

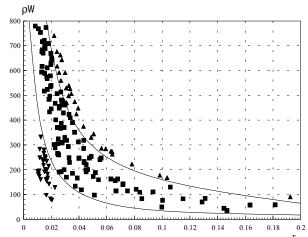


Рис. 3. Экспериментальная картограмма режимов кипения: область А (устойчивое пузырьковое кипение); ю - область В (неустойчивое снарядное кипение);

область С (устойчивое дисперсно-кольцевое кипение)

- пузырьковый режим кипения в начальной стадии процесса; его особенностью являлось устойчивое значение всех параметров (температура теплоносителя имитаторов, перепад давления на сборке, расходы теплоносителя на входе и выходе из зоны обогрева); увеличение мощности энерговыделения приводило к переходу пузырькового кипения в снарядное;
- снарядный режим возникал при плотности теплового потока от 125 до 170 к $Bт/м^2$; отличительной особенностью этого режима являлся его пульсационный характер; происходило образование крупных паровых пузырей (снарядов) с интервалами 40 сек. и более, которые в момент всплытия вызывали резкое увеличение расхода теплоносителя на входе и, как следствие, значительные колебания всех измеряемых параметров. Таким образом, колебания параметров имели гидродинамическую природу и, тем самым, определялись только процессом непосредственно кипения теплоносителя в тепловыделяющей сборке, но и комплексом процессов, происходящих и в сборке, и в циркуляционном контуре. Важно особо подчеркнуть, что температура оболочки имитаторов твэлов не превышала температуру насыщения, что свидетельствовало о наличии пленки жидкости на по-

MUSSON OSTSSIMSO SOHISAR 🐺

верхности имитаторов. Увеличение мощности сборки приводило к увеличению частоты образования снарядов и уменьшению величины амплитуды пульсаций температуры. При плотности теплового потока от 210 до 230 кВт/м² наблюдался переход от снарядного к дисперсно-кольцевому режиму.

• Дисперсно-кольцевой режим кипения характеризовался устойчивым поведением измеряемых параметров. Испарение жидкости и унос капель с поверхности имитаторов приводит в осущению поверхности — кризису теплообмена, сопровождающемуся плавлением оболочки имитаторов, и переходу к тяжелой аварии.

Дисперсно-кольцевой режим является предельным режимом кипения, который обеспечивает охлаждение тепловыделяющей сборки.

Результаты экспериментов показали, что при переходе от пузырькового к дисперсно-кольцевому режиму

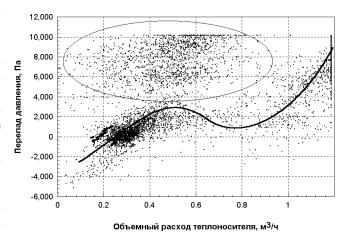


Рис. 4. Теплогидравлическая характеристика контура для эксперимента с дроссельной шайбой d=20 мм

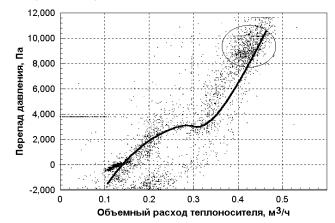


Рис. 5. Теплогидравлическая характеристика контура для эксперимента с дроссельной шайбой d=12 мм и дополнительным сопротивлением поджатого вентиля

происходит увеличение расхода теплоносителя в контуре циркуляции примерно в три раза. Это объясняется тем, что при малых весовых паросодержаниях потери на трение двухфазного потока еще относительно невелики и практически незаметны на фоне выталкивающей силы, действующей на паровую фазу. При тепловых потоках свыше 250 кВт/м², напротив, отмечалось падение расхода теплоносителя в контуре циркуляции и переход от дисперсно-кольцевого к дисперсному режиму кипения (закризисный теплообмен), поскольку значение истинного объемного паросодержания увеличились незначительно, а трение двухфазного потока (как и весовое паросодержание) становится существенным.

В результате обработки экспериментальных данных была получена зависимость массовой скорости жидкого металла от весового паросодержания (картограмма режимов кипения), представленная на рис. 3: А — пузырьковый режим кипения (устойчивый); В — снарядный режим (неустойчивый); С — дисперсно-кольцевой (устойчивый). Между указанными областями проведены приближенные аппроксимирующие линии.



КРИВАЯ УСТОЙЧИВОСТИ

В ходе обработки данных, полученных при проведении экспериментов, важным этапом являлось построение гидравлических характеристик для каждого эксперимента в отдельности. В результате были получены точечные картограммы зависимости перепада давления в рабочем участке контура от объемного расхода, представленные на рис. 4 и 5.

Расположение точек на картограммах позволило провести аппроксимирующие линии, схожие с классической гидравлической характеристикой, соответствующей неустойчивому режиму кипения. Наряду с множеством точек, характеризующих пульсационный режим кипения, существует обособленное множество точек, относящихся к режиму устойчивого кипения, которое на представленных рисунках выделено овалом.

Первичные наблюдения показывают, что расположение и размеры области устойчивости относительно кривой гидравлической характеристики, зависит от суммарного сопротивления контура циркуляции. Во всех случаях эти области выделялись в верхней части картограммы, соответствующей максимальному перепаду давления, и располагались тем ближе к аппроксимирующей линии, чем больше общее сопротивление; соответственно, размеры области в этом случае уменьшаются. К примеру в эксперименте с дроссельной шайбой диаметром 20 мм (рис. 4) облако устойчивого кипения выделяется особенно ярко, а в эксперименте с малыми расходами (дроссельная шайба d=12 и добавочное сопротивление зажатого вентиля - рис. 5) оно относительно невелико и практически теряется в множестве точек неустойчивого режима, и выделить его возможно лишь при более детальном изучении картограммы. Одновременно отчетливо прослеживается спрямление аппроксимирующей кривой гидравлической характеристики с увеличением суммарного сопротивления контура, то есть гидравлическая характеристика становится однозначной. Следовательно при большом гидравлическом сопротивлении вероятность возникновения неустойчивого режима кипения стремится к нулю, а точечное облако, соответствующее гидравлической характеристике, и область устойчивого кипения совпадают.

АНАЛИЗ ДАННЫХ ПО КИПЕНИЮ ЖИДКИХ МЕТАЛЛОВ

Теплообмен при кипении жидких металлов

При кипении смесей, представляющих идеальные растворы (эвтектический сплав натрий-калий как раз является таким раствором), зависимость коэффициента теплообмена (от концентрации низкокипящего компонента C' (в нашем случае это калий, $t_{\text{кип}} = 1033 \text{ K}$) имеет один экстремум-минимум. В этом случае коэффициент теплообмена для смеси может быть меньше его аддитивного значения

$$\alpha_{\text{NaK}} < \alpha_{\text{K}} \cdot C'_{\text{K}} + \alpha_{\text{Na}} (1 - C'_{\text{K}}), \tag{1}$$

где α_{Na} , α_{K} - коэффициенты теплообмена при кипении чистых калия и натрия, соответственно, при одинаковом давлении.

Проведенный анализ показал, что экспериментальные данные по кипению калия в большом объеме и в трубах [3] и сплава натрий-калий в пучках стержней, обработанные в виде коэффициентов теплоотдачи и представленные в виде зависимости:

MNDDO9 OSTDSWED BOH9BUR 🐺

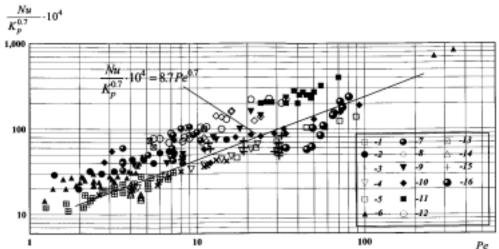


Рис. 6. Экспериментальные данные по теплоотдаче к жидким металлам;

1, 2, 3, 4, 5 - кипение калия в большом объеме при р= 1.2; 1.1; 0.7; 0.4; 0.04 атм.;

6, 7 - кипение натрия в большом объеме при р= 1.0; 0.472 атм.;

8, 9 - кипение натрия в большом объеме при р= 0.26; 1.0 атм.;

10 - кипение натрия в большом объеме;

11 - кипение натрия, щель d=2 мм;

12 – кипение натрия, щель d=4 мм;

13 – кипение натрия, щель d=1 мм;

14, 15 - кипение калия, труба d=22 мм; 8.3 мм;

16 - 7-стержневой пучок ФЭИ

$$\alpha = A \cdot q^m \cdot P^n \tag{2}$$

согласуются между собой. При этом коэффициенты в формуле (2), описывающие различные данные, принимают значения m=0,7; $n\approx0,1-0,15$; A=4,5-7,5 как для калия, так и для сплава натрий-калий.

В критериальном виде коэффициенты теплоотдачи при кипении жидких металлов обобщаются зависимостью [3], [4]:

$$Nu = 8.7 \cdot 10^4 \text{ Pe}^{0.7} \text{Kp}^{0.7}, \tag{3}$$

где $\text{Nu} = \frac{\alpha}{\lambda'} \sqrt{\frac{\sigma}{\rho' - \rho''}}$ - критерий Нуссельта; $\text{Pe} = \frac{\text{qc}\rho'}{\text{r}\rho''\lambda'} \sqrt{\frac{\sigma}{\rho' - \rho''}}$ - критерий Пекле;

$$\mathsf{Kp} = \frac{\mathsf{p}}{\sqrt{\sigma \mathsf{g}(\rho' - \rho'')}}.$$

Рис. 6 представляет данные по теплоотдаче при кипении жидких металлов, обобщенные в соответствии с зависимостью (3). Видно, что экспериментальные точки, полученные авторами на сплаве натрий-калий хорошо согласуются с общей зависимостью, что свидетельствует о возможности перенесения данных, полученных на натрий-калиевом теплоносителе на натрий.

Это свидетельствует о подобии кипения сплава натрий-калий и жидких метал-

MUSSON OSTSEMSO SONNER W



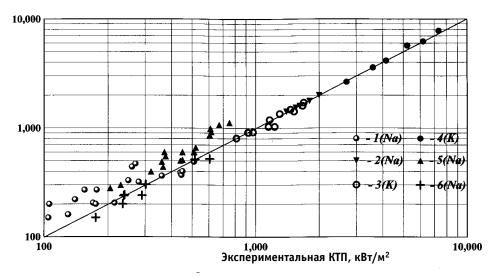


Рис. 7. Сравнение экспериментальных данных по КТП при кипении натрия и калия с величиной КТП, посчитанным по новому соотношению: 1 – Yamaguchi K.; 2, 3 – Chang S.H., Lee Y.-B.; 4, 5 – Kottowski H.M., Savatteri C.; 6 – Kaiser A.

лов и, следовательно, о возможности перенесения данных, полученных на натрийкалиевом теплоносителе на натрий.

Кризис теплообмена при кипении жидкого металла

Экспериментальные данные по величине критического теплового потока [5-8], полученные при кипении Na и K в трубах и сборке были проанализированы в следующем диапазоне изменения параметров: массовая скорость $G=1.69-402~\rm kr/m^2c$; давление $P=0.01-3.0~\rm fap$; гидравлический диаметр канала $D_r=4.0-9.0~\rm mm$; длина участка энерговыделения $L=200-1000~\rm mm$. Для этой области параметров величина критического теплового потока (КТП) изменялась в пределах $32.3-7370~\rm kBT/m^2$.

В результате обобщения имеющихся данных получено соотношение:

$$q_{Kp} = 0.312 \frac{G^{0.95}}{L/D_r} \cdot r.$$
 (4)

Из рис. 7 видно, что полученное соотношение достаточно хорошо описывает все данные, независимо от условий проведения эксперимента.

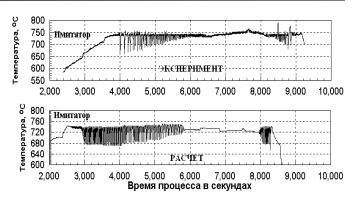
РАСЧЕТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Описанные выше режимы кипения жидкометаллического теплоносителя были смоделированы с помощью кода "THB", созданного на основе гомогенной одномерной математической модели со скольжением. Помимо системы дифференциальных уравнений движения и энергии для теплоносителя, модель включает в себя уравнение энергии для имитаторов твэлов.

Код "ТНВ" моделирует естественную циркуляцию и кипение жидкометаллического теплоносителя в замкнутом контуре с дыхательным баком и системой нагре-

MNOOOG OFFECTBO POCCHN

вательных элементов. Расчет динамики производится исходя из начального распределения по длине контура температур имитаторов и теплоносителя, давления и скоростей, из гидравлики контура, выбора теплоносителя и подводимой к нагревательным элементам тепловой мощности. Результаты расчета записываются в файлы по времени для воспроизведения на графиках. Подводимую имитаторам мощность можно изменять вручную, с клавиатуры, программно, по заданному закону, или читать готовое распределение по времени из файла. Для проведения расчетов экспериментов, тепловая мощность была взята из файлов, соответствующих реальному изменению плотности тепловыделения во времени в



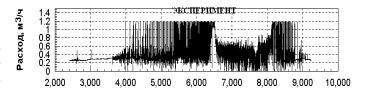




Рис. 8. Сравнение полученных расчетных и экспериментальных данных по температуре стенки имитатора и расходу теплоносителя (для условий эксперимента с дроссельной шайбой $d=20\,$ мм)

рассчитываемых экспериментах.

Полученные в результате расчетов графики изменения температуры имитатора на конце сборки, температуры теплоносителя в том же сечении и объемного расхода теплоносителя в сечении, соответствующем расходомеру на опускном плече реального контура, позволяют судить о схожести расчетного процесса с реальным с точностью до основных теплогидравлических характеристик (расхода, температуры, амплитуды пульсаций, частоты пульсаций). Сравнение расчетов с экспериментальными данными представлено на рис. 8 на примере эксперимента с наибольшим расходом теплоносителя с дроссельной шайбой \emptyset =20 мм. Несмотря на очевидную простоту модели, она хорошо отражает все основные феноменологические особенности проведенных экспериментов.

Основными достоинствами кода "ТНВ" являются:

- получение динамики процесса циркуляции и кипения теплоносителя в реальном времени с совпадением основных числовых характеристик;
- возможность выбора любого жидкометаллического теплоносителя с заранее известными свойствами;
- возможность выбора любой геометрии контура естественной циркуляции, включая контур реального реактора с жидкометаллическим теплоносителем;

MNOOOG OSTOSMED BOHGSAR 🛞

• возможность выбора закона изменения выделяющейся топливными элементами тепловой мощности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Эксперименты по исследованию процесса кипения жидкометаллического теплоносителя (эвтектический натрий-калиевый сплав) в модели тепловыделяющей сборки быстрого реактора в режимах естественной конвекции проведены в диапазоне массовых скоростей потока от 20 до 700 кг/м²с и плотностей теплового потока до 260 кВт/м². Существовали три самостоятельных режима кипения: пузырьковый, снарядный, дисперсно-кольцевой. Дисперсно-кольцевой режим является предельным режимом кипения, который обеспечивает охлаждение тепловыделяющей сборки. В снарядном режиме расход теплоносителя меняется между значениями для пузырькового режима кипения и дисперсно-кольцевого режима.

При переходе от пузырькового к дисперсно-кольцевому режиму происходит увеличение расхода теплоносителя в контуре циркуляции примерно в три раза. При тепловых потоках свыше 250 кВт/м² отмечалось падение расхода теплоносителя в контуре циркуляции и переход от дисперсно-кольцевого к дисперсному режиму кипения (закризисный теплообмен).

Анализ имеющихся экспериментальных данных по коэффициентам теплообмена и критическим тепловым потокам при кипении, проведенный для натрия, калия и эвтектического натрий-калиевого сплава, показывает, что на современном уровне знания теплофизические характеристики рассматриваемых жидких металлов подобны качественно и количественно. Следовательно, полученные экспериментальные результаты по теплообмену при кипении эвтектического натрий-калиевого сплава могут быть использованы при расчете теплообмена при кипении для натурных реакторных условий с охлаждением натрием.

Полученные результаты расчетов показали соответствие экспериментальным данным не только по характеру процесса, но и по основным теплогидравлическим характеристикам.

Следует отметить, что существуют лишь ограниченные экспериментальные данные исследований режимов кипения жидкометаллического теплоносителя при малых тепловых потоках в контуре с естественной циркуляцией. По существу не исследовано влияние многих факторов на процесс кипения и на границы между различными режимами кипения (давления (комплекс ρ_l/ρ_g), геометрических параметров, например, длины участка энерговыделения, соотношения гидравлического сопротивления различных участков контура циркуляции и др.). Не исследована устойчивость кипения жидкого металла в системе параллельных тепловыделяющих сборок. Продолжение экспериментальных и расчетно-теоретических работ позволит получить необходимое обоснование возможности устойчивого охлаждения активной зоны быстрых реакторов в режимах аварийного расхолаживания.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Авторы выражают благодарность за помощь в работе по подготовке экспериментов, анализу и обсуждению результатов сотрудникам ГНЦ РФ-ФЭИ Л.А. Кочеткову, П.Л. Кириллову, сотруднику ИВТ РАН Ю.А. Зейгарнику.

MNDDO9 OSTDSMEO BOH9BAR 🐺

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

Α		Коэффициент в формуле (2)	n		Коэффициент в формуле (2)
c'		Концентрация компонента	Nu		Число Нуссельта
\mathbf{c}_{p}	Дж/(кг⋅К)	Теплоемкость	Р	бар	Давление
d	М	Диаметр	Ре		Число Пекле
D	М	Гидравлический диаметр канала	p_k	бар	Критическое давление
D_Γ	М	Гидравлический диаметр канала	q	B _T / _M ²	Плотность теплового потока
g	M/c^2	Ускорение свободного падения	$q_{\kappa p}$	MBT/M^2	Критическая плотность теплового
					потока
G	кг/с	Массовая скорость	r	кДж/кг	Удельная теплота парообра-
					зования
L	М	Длина обогреваемого участка	s	M	Шаг решетки
M		Молекулярная масса	Τ	К	Температура
m		Коэффициент в формуле (2)	Х		Весовое паросодержание

Греческие символы

α	Вт/(м ² ·К)	Коэффициент теплоотдачи
λ	Вт/(мЧК)	Теплопроводность
λ'	Вт/(мЧК)	Теплопроводность жидкости
ρ'	кг/м ³	Плотность жидкости
ρ"	кг/м ³	Плотность пара
σ	Н/м	Поверхностное натяжение

список литературы

- 1. Зейгарник Ю.А., Литвинов В.Д. Кипение щелочных металлов в каналах. М.: Наука, 1983. 125 с.
- 2. Kutateladze S.S., Borishansky V.M., Novikov I.I., Fedensky O.S. Heat Transfer in Liquid Metal // Zhidkometallitsheskye Teplonositelli.-M.: Atomizdat, 1958 (in Russian).
- 3. Кириллов П.Л., Юрьев Ю.С., Бобков В.П. Справочник по теплогидравлическим расчетам (ядерные реакторы, теплообменники, парогенераторы). М.: Энергоатомиздат, 1990.
- 4. Γ алин Н.М., Kириллов Π .Л. Тепломассообмен (в ядерной энергетике).- М.: Энергоатомиздат, 1987.
- 5. *Yamaguchi K*. Flow pattern and dryout under sodium boiling conditions at decay power levels // Nuclear Engineering and Design. 1987. V.99. № 3. P. 247-263.
- 6. Chang S.H., Lee Y.-B. A new critical heat flux model for liquid metals under low heat flux-low flow conditions // Nuclear Engineering and Design. 1994. V.118. №3. P. 487-498.
- 7. *Kottowski H.M., Savatteri C*. Fundamentals of liquid metal boiling thermohydraulics // Nuclear Engineering and Design. 1984. V.82. №3. P.281-304.
- 8. *Kaiser A., Peppler W*. Type of flow, pressure drop, and critical heat flux of a two-phase sodium flow // Nuclear Engineering and Desing, 1974. V.30. № 3. P.305 315.

Поступила в редакцию 28.05.99.



Тупикин Е.И. Общая биология с основами экологии и природоохранной деятельности: Учеб. пособие- М.: ИРПО, AcademiA, 1999. - 378 с. 50000 экз (п) ISBN 5-8222-0011-7.

Ленинградская АЭС: Годы. События. Люди / Под ред. В.И. Лебедева. - СПб., 1998. - 617 с.: ил. 10000 экз. (п) ISBN 5-283-02559-4.

Сборник нормативных и методических документов по измерениям, коммерческому и техническому учету электрической энергии и мощности / Сост Я.Т. Загорский, У.К. Курбангалиев. - Изд. испр. и доп. - М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 1999. - 333 с. 500 экз. (п) ISBN 5-93196-009-0.

Юлий Борисович Харитон: Путь длиною в век / Ред.-сост. В.И. Гольданский, А.Ю. Семенов, М.Б. Черненко.-М.: Эдиториал УРСС, 1999. - 509 с. 1000 экз. (п) ISBN 5-901006-68-2.

Баклушин Р.П. Переходные режимы нормальной эксплуатации АЭС: Учебное пособие. - Обнинск: ИАТЭ,1999. - 75 с.

Иванов В.С., Саркисов А.Ю., Юхачев А.Н. Устройство ЯЭУ с водо-водяными реакторами малой мощности: Учебное пособие. - Обнинск: ИАТЭ, 1999. - 90 с.

For the last years in Russia the specific change in the ILW and LLW management has been surfaced. It is resulted in the prospective processes, equipment and installations for waste conditioning as well as for original findings based on the fundamental science, engineering and technology achievements, including progress in radiation biology.

УДК 621.039.526

Evaluation and Comparison of Plutonium Potential Hazard \A.G. Aseev, S.A. Subbotin; Editorial board of journal "Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetica" (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) - Obninsk, 1999. - 9 pages, 1 table. - References, 7 titles.

An attempt to reevaluate plutonium as very toxic element was made in the article. Plutonium radiation hazard and plutonium properties dangerous for human being and the environment are considered. Estimation of its chemical toxicity also was suggested and it was compared with radiation plutonium toxicity. An estimation of real danger related to plutonium is represented in this article.

УДК 519.688:621.039.572

FACT98 Code for Three-Dimensional Neutronics and Thermal Hydraulics Calculations of Boiling VK-300 Reactor\ S.V. Barinov, V.V. Vasil'ev, V.K. Vikulov, V.K. Davidov, A.P. Zhirnov, Yu.I. Mityaev, A.V. Radkevich, M.I. Rozhdestvensky; Editorial board of journal "Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetica" (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) - Obninsk, 1999. - 4 pages, 1 illustration. - References, 1 titles.

FACT98 code permits to calculate stationary states of a reactor, burn-up of fuel subject to overload and transposition of fuel assemblies as well power distribution, control rods displacement, reactivity effects and coefficients etc. Later is planed to add into the program calculation of the transient process on the basis of a spatial neutron dynamics and thermal hydraulics.

УДК 621.039.526:621.039.534.6

Evaluation of effects of (γ,n) & (n,2n) reactions on criticality and kinetics of heavy-water reactor (γ,n) Yu.V. Volkov, T.G. Petrosov, M. Moniri; Editorial board of journal "Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetica" (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) - Obninsk, 1999. - 7 pages, 5 illustrations. - References, 4 titles.

The effect of photoneutron reactions on criticality and dynamic of a heavy water reactor has been evaluated. It has been shown that these reactions are not to be considered during neutron-physical calculations of a nuclear reactor having practically feasible dimensions. At the same time the effect of delayed photoneutron reactions on dynamics of a heavy water reactor is essential. The digital reactimeter for such reactor has been developed and tested in imitation experiment.

УДК 621.039.526

Numerical and Experimental Investigations of Stable Heat-Exchange Conditions with Liquid Metal Boiling under Fast Reactor Accident Heat Removal Regime \ A.P. Sorokin, A.D. Yefanov, Ye.F. Ivanov, D.Ye. Martsiniouk, G.P. Bogoslovskaya, K.S. Rymkevich, V.L. Malkov; Editorial board of journal "Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetica" (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) - Obninsk, 1999. - 11 pages, 8 illustrations. - References, 8 titles.

The description of test facility, sensors, measurement procedure and the experimental data on investigation of liquid metal coolant boiling in a model of fast reactor fuel subassembly under the accident heat removal conditions with small circulation rates are represented. The physics, performances and stability of various boiling regimes observed in experiments (nucleate, slug, disperse-annular) are analyzed. Experimental pattern map for liquid metal boiling was obtained. The description of a mathematical model of liquid metal boiling in the natural circulation circuit and results of test accounts for conditions with increasing of energy generation and with sharp reduction of pressure are represented.

УДК 621.039.544.35:621.039.526

Development of the Chemical Treatment Methods for Thorium Materials in a Uranium - Thorium Fuel Cycle \ B.Ya. Zilberman, L.V. Sytnik, B.Ya. Galkin, A.G. Gorsky, V.B. Pavlovich, E.Ya. Smetanin, F.P. Raskach; Editorial board of journal "Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetica" (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) - Obninsk, 1999. - 7 pages, 3 illustrations, 3 tables. - References, 3 titles.