

ПРОБЛЕМЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ КРИЗИСА ТЕПЛОТДАЧИ В ДИСПЕРСНО-КОЛЬЦЕВОМ РЕЖИМЕ ТЕЧЕНИЯ ДВУХФАЗНОГО ПАРОЖИДКОСТНОГО ПОТОКА

И. Г. Шараевский, Н. М. Фялко, Л. Б. Зимин, Н. О. Меранова

Институт проблем безопасности АЭС НАН Украины, Киев

Рассмотрены пути и доказана возможность прогнозирования кризиса теплоотдачи 2-го рода.

Ключевые слова: кризис теплоотдачи 2-го рода, двухфазный поток, дисперсно-кольцевой режим, тепловыделяющие сборки, надежность и безопасность АЭС.

Для реакторов кипящего типа (РБМК, ВВР) наибольшую опасность представляет кризис теплоотдачи 2-го рода, соответствующий началу перехода от дисперсно-кольцевой структуры потока (рис. 1, *в*) к дисперсному (рис. 1, *г*). Физика кризисных явлений в дисперсно-кольцевом режиме течения двухфазного потока принципиально отличается от теплогидравлических процессов, сопровождающих трансформацию структуры двухфазного пристенного слоя при переходе пузырькового кипения к его пленочной форме в потоке недогретой и насыщенной жидкости (рис. 1, *а*, *б*). В дисперсно-кольцевом потоке жидкость течет в виде пленки по стенке канала и в виде капель, распределенных в потоке пара в центре канала. При давлениях менее 5–7 МПа капли воды в основном сосредоточиваются в пристенной зоне, а при более высоких давлениях находятся в центральной области потока [1].

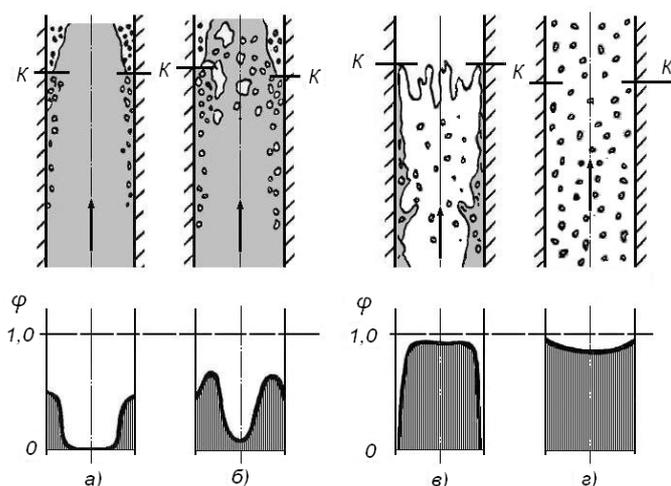


Рис. 1. Схематическое изображение основных физических закономерностей механизма кризисных явлений в цилиндрическом парогенерирующем канале при различных режимах восходящего течения двухфазного потока, а также профилей истинного паросодержания φ при наступлении кризиса теплоотдачи (K – сечение кризиса):

а – недогретое пузырьковое кипение; *б* – насыщенное пузырьковое кипение; *в* – дисперсно-кольцевой режим течения; *г* – дисперсный режим течения.

В отличие от кризиса теплоотдачи при кипении недогретой и насыщенной жидкости (см. рис. 1, *а*, *б*), физика кризисных явлений 2-го рода в дисперсно-кольцевом режиме течения двухфазного парожидкостного потока, согласно терминологии [2], связана с прекращением расхода жидкости в пристенной жидкостной пленке (см. рис. 1, *в*). Величина этого расхода в соответствующем сечении парогенерирующего канала определяется интенсивностью следующих тепловых и гидродинамических процессов (схематически изображенных на рис. 2): испарения жидкости – $B = q/r$; уноса влаги из пристенной пленки в результате пузырькового кипения в ее объеме E_{II} ; механического срыва капель с гребней волн E_M ; выпадения капель из ядра потока на поверхность пленки D . При этом $E = E_{II} + E_M$.

Явление кризиса гидравлического сопротивления в парогенерирующем канале соответствует области трансформации пристенной жидкостной пленки от состояния с мелкими волнами (рябью) на ее поверхности к микропленке с уже подавленным в ней поверхностным кипением и сопровождается характерными изменениями акустического спектра.

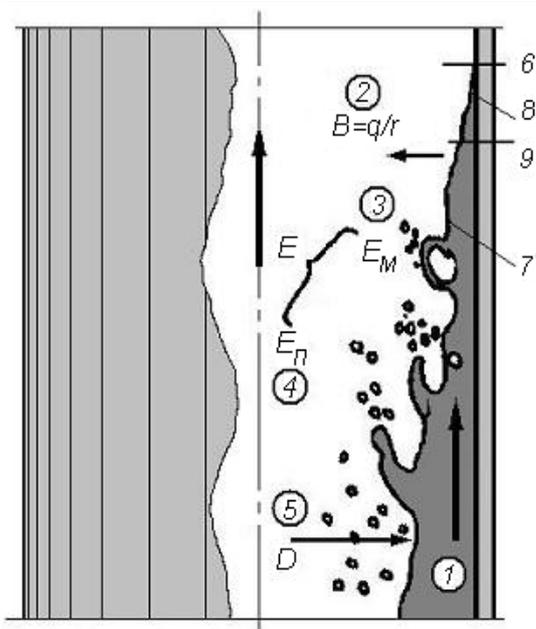


Рис. 2. Теплогидравлические процессы в дисперсно-кольцевом режиме течения при возникновении кризиса теплоотдачи 2-го рода по данным [2]:

1 – начальный расход ($G_{пл.0}$); 2 – испарение пленки ($B=q/r$); 3 – механический унос капель (E_M); 4 – пузырьковый унос капель (E_n); 5 – выпадение капель (D); 6 – сечение кризиса теплоотдачи 2-го рода (x_{sp}); 7 – область мелких волн (ряби); 8 – жидкостная микропленка с подавленным кипением; 9 – сечение кризиса гидравлического сопротивления ($x_{\Delta P}$).

Для аксиальной координаты Z парогенерирующего канала с периметром P и сечением A дифференциальное уравнение расхода жидкости в рассмотренной пристенной пленке имеет вид [1]

$$\frac{dG_{пл}}{dZ} = \frac{P}{A}(D - E - B). \tag{1}$$

Аналитическое решение уравнения (1) наталкивается на значительные трудности, связанные с отсутствием необходимой информации о деталях механизма тепловых и гидродинамических процессов, формирующих расход жидкости в пристенной пленке и, таким образом, непосредственно обуславливающих конкретные особенности кризисных явлений. С целью получения хотя бы качественного согласования полученных решений с экспериментом предпринимаются попытки (такие, например, как [3]) эмпирического подбора констант, необходимых для интегрирования уравнения (1).

В настоящее время аналитические исследования кризиса теплоотдачи в условиях дисперсно-кольцевого режима восходящего течения двухфазного потока ведутся в контексте двух основных подходов. В соответствии с первым из них главным объектом аналитического исследования является тот вид тепломассообменного процесса (см. рис. 2), который применительно к соответствующему участку и конкретным теплогидравлическим условиям в парогенерирующем канале оказывает доминирующее влияние на формирование пристенной жидкостной пленки. Поскольку кризис теплоотдачи второго рода обусловлен высыханием пристенной жидкостной пленки, то уравнение (1) подлежит интегрированию от того сечения парогенерирующего канала, которое соответствует началу дисперсно-кольцевого режима течения, до той его аксиальной координаты, в которой достигается $G_{пл.0} = 0$, т.е. отсутствие расхода в ней. Известен ряд методов решения уравнения (1), таких, как [4], различающихся подходами к выбору граничных условий, а также моделями для определения параметров D и E . Последние требуют надежной информации о таких трудноопределимых параметрах, как текущая C_i и равновесная C_p концентрации капель, а также связывающий эти величины коэффициент пропорциональности K – коэффициент массообмена для каждого из процессов:

$$D = KC_i; \quad E = KC_p. \tag{2}$$

Согласно данным [4], равновесная концентрация капель C_p определяющим образом влияет на расход жидкости в пленке, хотя эта взаимосвязь установлена авторами только для адиабатного потока. В рамках гипотезы остается также и предположение о равенстве коэф-

коэффициентов массообмена K в соотношении (2). Кроме того, нет необходимой ясности и с определением двух составляющих параметра E , который характеризует интенсивность уноса жидкости из пристенной пленки (см. рис. 2), а именно: пузырькового уноса E_L , обусловленного выносом влаги в паровое ядро генерируемыми в пленке паровыми пузырями, а также механического уноса E_M , связанного со срывом капель с гребней волн потоком пара. В настоящее время отсутствуют экспериментальные методы контроля указанных составляющих уноса жидкости из пленки. В силу этой причины не удается разделить влияние каждого из этих факторов уноса, что в свою очередь, не дает возможности уточнить и скорректировать рассматриваемую математическую модель.

Кроме того, модель [4] не учитывает возможности перехода при определенных теплогидравлических условиях пузырькового кипения в пристенном жидкостном слое к его пленочному режиму (факт такого перехода подтверждается экспериментальными результатами [5]), что может инициировать резкое снижение интенсивности теплоотдачи еще до возникновения условий пересыхания жидкостной пленки на стенке парогенерирующего канала. В этой связи приходится констатировать, что экспериментальные методы, позволяющие надежно идентифицировать в промежутках между гребнями волн (рис. 2) момент перехода пузырькового кипения к его пленочной форме в настоящее время фактически отсутствуют. Вполне очевидно также и то, что интегрирование уравнения (1) в контексте рассматриваемого детерминированного аналитического подхода предполагает наличие надежной информации о точке начала дисперсно-кольцевого режима течения. Вместе с тем, ввиду вероятностного характера дисперсно-кольцевого режима, равно, как и других типов структурных форм двухфазного парожидкостного потока, границы между ними являются физически нечеткими, а экспериментальные методы надежной идентификации этих границ до настоящего времени не разработаны.

В соответствии со вторым подходом к аналитическим исследованиям кризиса теплоотдачи в дисперсно-кольцевом режиме восходящего течения двухфазного парожидкостного потока решению подлежит замкнутая система дифференциальных уравнений в частных производных, включающая уравнения сохранения массы, импульса и энергии. Основное препятствие в решении указанной системы уравнений состоит в наличии внутри выделенного дифференциального объема границы раздела фаз, изменяющейся в соответствии с вероятностными закономерностями, характерными для процесса кипения в целом [6]. Такое противоречие между аналитическим детерминированным подходом к описанию данной структурной формы двухфазного парожидкостного потока и стохастической природой кипения органически присуще и любому другому аналитическому подходу такого рода.

Это относится и к наиболее совершенным математическим моделям данного режима течения, таким, например, как [7–9], в которых двухфазный поток представляется в виде взаимопроникающих и взаимодействующих континуумов, а дисперсно-кольцевая структура потока подразделяется на три характерных зоны: стенку канала, жидкостную пленку на ней и паровое ядро, причем тепломассообмен между этими зонами (процессы испарения пленки, осаждения и уноса капель, и др.) учитывается на их границах через условия сопряжения. Ввиду высокой сложности указанной задачи ее решение, а именно: определение расходов жидкости в пленке, полей температур, коэффициентов теплоотдачи, требует введения ряда упрощающих предположений. Последние связаны с введением комплекса замыкающих соотношений, которые должны приближенно охарактеризовать долю жидкости в ядре потока на нижней границе дисперсно-кольцевой структуры, коэффициенты диффузии и турбулентной вязкости, интенсивность капельного уноса и ряд других параметров. Естественно, что указанные упрощения существенно снижают точность получаемых аналитических решений.

При этом с позиций общей оценки эффективности направлений аналитических подходов к расчету кризиса теплоотдачи применительно к рассматриваемым условиям необходимо обратить внимание на следующее принципиальное обстоятельство. Достигнутое в ряде работ, таких, например, как [10–12], удовлетворительное совпадение теоретически рассчитан-

ных значений критического теплового потока (КТП) с экспериментально полученными величинами, в целом, не должно давать оснований для оптимизма при оценке продуктивности математических моделей кризисных явлений. Анализ этих работ свидетельствует о решающей зависимости конечных результатов аналитического расчета КТП от выбора граничных условий, который, в силу ряда упрощающих допущений, сделанных авторами, далеко не всегда может быть признан физически обоснованным.

Еще более сложны не только для аналитического расчета КТП, но также и для экспериментального исследования этого важнейшего эксплуатационного параметра процессы теплообмена и гидродинамики в тепловыделяющих сборках (ТВС) энергетических ядерных реакторов. Как известно [7], Активные зоны (АкЗ) этих реакторных установок сформированы из ТВС с продольноомываемыми цилиндрическими ТВЭЛ и парогенерирующими каналами сложной геометрической формы. Для таких ТВС характерен интенсивный тепломассообмен между отдельными теплогидравлическими ячейками [13]. На начальном этапе экспериментальных исследований определение КТП в ТВС осуществлялось по среднепучковым параметрам. Так был получен ряд эмпирических формул, каждая из которых, однако, была пригодна лишь для одной конкретной геометрии ТВС. Такова, например, получившая широкое применение в практике эксплуатации отечественных ядерных реакторов водородного типа эмпирическая формула [14], которая, однако, позволяет рассчитать КТП только для одного значения давления и пригодна только для ТВС ВВЭР.

Результаты дальнейших измерений температур и расходов по сечению пучка показали, что энтальпия, массовая скорость, паросодержание в различных ячейках могут существенно отличаться друг от друга. Поэтому было признано, что получение надежных зависимостей, построенных по осредненным по сечению пучка параметрам, даже в ограниченных диапазонах невозможно. Следующим этапом исследований стало рассмотрение стержневой сборки ТВЭЛ в виде совокупности отдельных теплогидравлически неравноценных подканалов (теплогидравлических ячеек). Сущность такого поканального аналитического подхода состоит в определении (на основе анализа соответствующих уравнений сохранения) наиболее теплонапряженной ячейки, в которой КТП достигается раньше, чем в других. Наибольшая сложность подобного расчетного анализа состоит в необходимости адекватного учета взаимодействия между отдельными теплогидравлическими ячейками ТВС. При этом указанное взаимодействие обусловлено не только турбулентным обменом и конвективным переносом, но также и дрейфом пара в те подканалы сборки, в которых массовые скорости теплоносителя выше.

Необходимо также отметить, что именно в двухфазном парожидкостном потоке перенос массы, количества движения и энтальпии между ячейками особенно существенен, причем вскипание теплоносителя в наиболее теплонапряженных ячейках значительно интенсифицирует эти процессы. В этом контексте весьма важным обстоятельством следует считать и факт невозможности надежного обнаружения начала генерации паровой фазы на теплоотдающей поверхности ТВЭЛ существующими измерительными средствами [15].

Данные работы [16], приведенные на рис. 3, которые получены на основе гомогенной модели двухфазного парожидкостного потока, дают представление об интенсивности межканального обмена в функции от его массового паросодержания. Эти результаты свидетельствуют о том, что характерной особенностью межканального обмена в двухфазном потоке является наличие максимума его интенсивности в области перехода от пузырькового к дисперсно-кольцевому потоку при балансовом массовом паросодержании $x \approx 0,05 \div 0,15$. Наличие этого достаточно широкого максимума является вполне очевидным свидетельством также и физически нечеткого (вероятностного) характера границы между двумя подлежащими идентификации диагностическими объектами, а именно: пузырьковым режимом течения в ТВС и его дисперсно-кольцевой структурной формой. В этой связи необходимо отметить, что, ввиду значительных трудностей, связанных с идентификацией основных классов структурных форм двухфазного парожидкостного потока в парогенерирующих

каналах и, в особенности, в стержневых сборках ТВЭЛ, карты режимов течения в ТВС до настоящего времени практически не созданы.

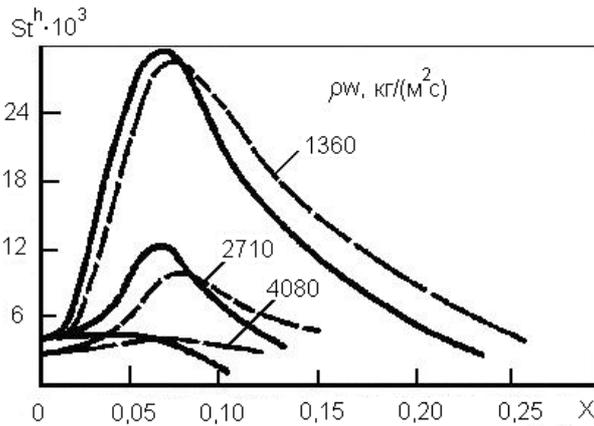


Рис. 3. Зависимость интенсивности межканального обмена в ТВС (St^h — безразмерный коэффициент обмена энтальпий) от массового паросодержания двухфазного парожидкостного потока по данным [16] (сплошная линия — при наличии дистанционирующей решетки; пунктирная линия — при ее отсутствии).

Следует также подчеркнуть, что в широко известных теплогидравлических кодах «Совга» и «Пучок» [17] теплогидравлические параметры ТВС с учетом вышеизложенного взаимодействия подканалов стержневой сборки осреднены отдельно для каждого из трех основных видов отдельных теплогидравлических ячеек (центральных, боковых и угловых). Дальнейшее развитие расчетных методик, основанных на учете межканального взаимодействия в ТВС, связано с детальным анализом течения жидкостной пленки на поверхности ТВЭЛ, а также массообменных процессов между отдельными теплогидравлическими ячейками стержневой сборки, причем работой [18] начало таким исследованиям уже положено. Надежная информация об этих процессах создаст необходимую основу для аналитического решения уравнения (1) уже для каждого поперечного сечения ТВС с учетом изменения интенсивности массообменных процессов по периметру ТВЭЛ.

Не снижая ценности вышеупомянутых теоретических исследований кризисных явлений в области высоких паросодержаний, следует подчеркнуть, что в настоящее время эти работы не позволяют с отвечающей требованиям практики точностью предсказать значения КТП, необходимые для оценки безопасных условий эксплуатации АкЗ ядерных реакторов. Таким образом, экспериментальные исследования кризисов теплоотдачи продолжают оставаться единственным источником информации об этом сложном и многоплановом теплогидравлическом процессе.

Кроме того, с позиций важной для обеспечения надежности и безопасности современных АЭС проблемы прогнозирования кризисных явлений на поверхности ТВЭЛ в реальных условиях эксплуатации АкЗ водоохлаждаемых энергетических ядерных реакторов необходимо отметить следующее.

Во-первых, измерение ряда важнейших технологических параметров, например, массовой скорости, в каждой конкретной ТВС (не говоря уже о распределении этого параметра по отдельным теплогидравлическим ячейкам стержневой сборки) в настоящее время не может быть обеспечено с приемлемой для надежного расчета КТП точностью. Как известно, контроль величины реального расхода в каждой ТВС в настоящее время не может быть обеспечен. Отсутствие информации об этом и ряде других теплогидравлических параметров АкЗ (например, в реакторах ВВЭР расход теплоносителя через АкЗ определяется исключительно на основе приближенных оценок этого параметра и только интегрально, т.е. в целом по циркуляционной петле) не позволяет надежно оценить величину реального запаса до кризиса в каждой ТВС на основе используемых для этих расчетов зависимостей по КТП.

Во-вторых, выполненные в ряде работ, таких, например, как [19], исследования влияния ряда физических аномалий в АкЗ ЯР, связанных как с отклонениями геометрии парогенерирующего канала от проектной, так и с появлением локальных всплесков тепловыделения на поверхности ТВЭЛ («горячие пятна», связанные с распуханием топливного сердечника), свидетельствуют о существенном влиянии указанных факторов на величину

КТП, рассчитанную по известным зависимостям. Вполне очевидно, что указанные факторы реально не могут быть проконтролированы в процессе эксплуатации АкЗ ядерных реакторов. Так, в [19] исследовано влияние местного сужения кольцевого канала на КТП при давлениях 7...12 МПа, массовых скоростях $(0,7...2,2) \cdot 10^3$ кг/(м²·с), паросодержаниях от – 0,15 до 0,35. На основании выполненных экспериментов сделан вывод о том, что местное сужение канала приведет к существенному снижению КТП, и такое снижение тем больше, чем меньше массовая скорость. В [20] показано, что даже незначительный эксцентриситет стержневой сборки ТВЭЛ в пределах $(0,6...1) \cdot 10^{-3}$ м может снизить величину КТП на 20...30 %.

Кроме того, касаясь правомерности переноса результатов исследований КТП, которые получены на теплогидравлических стендах с экспериментальными электрообогреваемыми стержневыми сборками, имеющими обычно относительно небольшое (по сравнению с реальными ТВС энергетических ядерных реакторов) число ТВЭЛ, необходимо отметить следующее. Известно [13], что семистержневой модельный пучок имеет три основных типа элементарных ячеек (центральная, боковая, угловая), которые существенно отличаются друг от друга в теплогидравлическом отношении. При переносе экспериментальных данных, например, с семистержневого пучка на реальные многостержневые ТВС необходимо учитывать, что для ячеек каждого из указанных типов в такой кассете распределение теплогидравлических параметров иное, чем в экспериментальной семистержневой сборке.

Выводы

1. Имеющиеся в настоящее время эмпирические расчетные зависимости для определения критического теплового потока в области высоких паросодержаний (соответствующей дисперсно-кольцевой структуре потока) не позволяют предсказать наступление кризиса теплоотдачи 2-го рода с точностью, необходимой для обеспечения надежности водоохлаждаемых ядерных реакторов.

2. В процессе эксплуатации ядерных реакторов оперативные данные о реальных значениях комплекса важнейших теплогидравлических параметров ТВС отсутствуют. Это также не позволяет на основе существующих расчетных зависимостей по критическому тепловому потоку надежно оценить величину запаса мощности до кризиса теплоотдачи на поверхности ТВЭЛ.

3. Налицо актуальная необходимость разработки принципиально новых методов оперативной шумовой диагностики предаварийных и аномальных режимов генерации паровой фазы на теплоотдающей поверхности ТВЭЛ в процессе эксплуатации ядерных реакторов. Эти методы следует рассматривать не только как дополнение к реализуемым в настоящее время расчетным методикам определения располагаемого запаса до кризиса теплоотдачи в ТВС, но также и как фактическую альтернативу использованию существующих методик расчета критического теплового потока.

4. Возможность распознавания кризиса гидравлического сопротивления в парогенерирующих каналах следует считать главным определяющим условием возможности прогнозирования кризиса теплоотдачи 2-го рода, происходящего в области перехода дисперсно-кольцевого режима течения в дисперсный.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Investigation of the liquid phase distribution in two-phase flow* / V. M. Kascheev, P. L. Kirilov, Y. V. Muranov e.a. // Proc. Fourth Int. Topical Meeting on Nuclear Reactor Thermal-Hydraulics. - Karlsruhe, F.R.G. Oct. 10 - 13. – 1997. - Vol. 2. - P. 1157 - 1162.
2. *Дорошук В.Е.* Кризисы теплообмена при кипении воды в трубах. – 2-е изд. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 120 с.
3. *Levy S., Heazler J.M., Adollahian D.* Prediction of critical heat flux in vertical pipe flow // Nuclear Eng. Design. - 1981. - Vol. 65(1). - P. 131 - 140.
4. *Hewitt G.F.* Critical Heat Flux in Flow boiling // 6-th Int. Heat Transfer Conf. Toronto. - 1978. - Vol. VI. - P. 143 - 179.

5. *Козловский С.П., Пометько Р.С., Пашичев В.В.* Кризис теплоотдачи и распределение жидкости в дисперсно-кольцевом режиме течения // Теплофизика высок. температур. – 1978.- Т. 16, № 1. - С. 94 - 98.
6. *Толубинский В.И.* Теплообмен при кипении. – К.: Наук. думка, 1980. - 315 с.
7. *Карацев В.А., Муранов Ю.М.* Расчет поля скорости в двухфазном дисперсно-кольцевом потоке // ТВТ.- 1976.- Т. 14, № 5. - С. 1015 - 1021.
8. *Atwo-dimensional mathematical model of annular-dispersed and dispersed flows / P. L. Kirilov, V. M. Kascheev, Yu. V. Muranov a.e. // Int. Jour. Heat Mass Transfer. - 1987. - Vol. 30, No. 4. - P. I. - P. 801.*
9. *Кащеев В.М., Муранов Ю.В., Юрьев Ю.С.* Влияние замыкающих коэффициентов в двумерной математической модели парокапельного потока на результаты вычислительного эксперимента // Вопросы атомной науки. Сер. Физика и техника ядерных реакторов. – 1987. – Вып. 6 – С. 56 - 59.
10. *Method of Critical Power Prediction Based on Film Flow Model COUPLED With Subchannel Analysis / Tomiyama A.Yokomizo, Yoshimoto Y a.e. // Jour. Nucl. Sci. Technology. - 1988. - Vol. 25. - № 42. - P. 137 - 145.*
11. *Multi-fluid modeling of annular two-phase flow / T. Saito Hughes E.G., Carbon M.W. // Nuclear Eng. Design. - 1978. - Vol. 50. - P. 225 - 271.*
12. *The calculation of CHF in forced convection boiling / Whalley P.B., Hutehinson P. Hewitt G.F. a.e. // Proc. 5-th Int. Heat Transfer Conf., Tokyo. - 1974. - Vol. IV. - P. 290 - 294.*
13. *Шараевский И.Г., Домашев Е.Д., Архинов А.П.* Метод локальной верификации карт режимов течения в тепловыделяющих сборках // Пром. теплотехника. – 2002. – Т. 24. - № 2-3. – С. 127 - 134.
14. *Экспериментальное исследование и статический анализ данных по кризису теплообмена в пучках стержней для реактора ВВЭР / Ю. А. Безруков, В. И. Астахов, В. Г. Брантов и др. // Теплоэнергетика. – 1976. - № 2. - С. 83 - 88.*
15. *Делайе Дж., Гюо М., Ритмюллер М.* Теплообмен и гидродинамика двухфазных потоков в атомной и тепловой энергетике / Пер. с англ. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 424 с.
16. *Молекулярный и турбулентный межканальный обмен в двухфазных потоках / А. П. Сорокин, А. В. Жуков, Ю. Н. Корниенко и др. // Препринт ФЭИ. А 1870. - Обнинск, 1987.*
17. *Нигматулин Б.И., Мелихов О.И., Соловьев С.Л.* Состояние и развитие отечественных системных теплогидравлических кодов для моделирования аварийных и нестационарных процессов на АЭС с ВВЭР // Теплоэнергетика. – 2001. - № 3. – С. 17 - 20.
18. *Subchannel analysis by the FIDAS Code based on the three-fluid model / S. Sugsvars, T. Sakai, Watanabe K., Rumens H. E. C. // Proc. IV Intern. Topical Meeting on Nuclear Thermal-Hydraulics, Karlsruhe. FRG. - 1989. - Vol. 1. - P. 560 - 567.*
19. *Исследование кризиса теплообмена при движении кипящей воды в кольцевом канале / В. С. Осмачнин и др. // ТФ-74. Исслед. критических тепловых потоков в пучках стержней. СЭВ. – М., 1974. – С. 251 - 266.*
20. *Влияние геометрического фактора на критический тепловой поток в пучке стержней // Тепло-массообмен / Т. Коберн и др. - Минск, 1976. - Т. 3, ч. 2. – С. 90 - 95.*

ПРОБЛЕМИ ПРОГНОЗУВАННЯ КРИЗИ ТЕПЛОТДАЧИ В ДИСПЕРСНО-КІЛЬЦЕВОМУ РЕЖИМІ ТЕЧІЇ ДВОФАЗНОГО ПАРОРІДИННОГО ПОТОКУ

І. Г. Шараєвський, Н. М. Фіалко, Л. Б. Зімін, Н. О. Меранова

Розглянуто шляхи й доведено можливість прогнозування кризи тепловіддачі 2-го роду.

Ключові слова: криза тепловіддачі 2-го роду, двофазний потік, дисперсно-кільцевий режим, тепловиділяючі збірки, надійність і безпека АЕС.

PROBLEMS OF FORECASTING OF THE HEAT TRANSFER CRISIS IN ANNULAD-DISPERSE MODE OF THE DIPHASIC VAPOUR-LIQUID FLOW

I. G. Sharaevsky, N. M. Fialko, L. B. Zimin, N. O. Meranova

Ways are considered and possibility of forecasting for 2 type heat transfer crisis is proved.

Key words: crisis of 2 type heat transfer, two-phase flow, dispersed-annular mode, fuel assemblies, reliability and safety of nuclear power plant.

Поступила в редакцию 26.08.08