

# ОБОБЩЕНИЕ ОПЫТНЫХ ДАННЫХ ПО КРИТИЧЕСКИМ ТЕПЛОВЫМ ПОТОКАМ В ПУЧКАХ С ТРЕУГОЛЬНЫМ РАСПОЛОЖЕНИЕМ СТЕРЖНЕЙ

**А.А. Ивашкевич**



Предложена формула для описания критического теплового потока в пучках равномерно обогреваемых стержней, расположенных по треугольной упаковке. По сравнению с опубликованными ранее формулами данная формула обобщает опытные данные в более широких диапазонах изменения параметров и с меньшей среднеквадратичной погрешностью.

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время расчет критического теплового потока  $q_{крн}$  в активной зоне ВВЭР выполняется в два этапа [1]: сначала рассчитывается величина  $q_{кр}$  при равномерном тепловыделении, которая затем пересчитывается для условий неравномерного тепловыделения по длине с использованием фактор-формы  $F_\phi$ :

$$q_{крн} = q_{кр} F_\phi, \quad (1)$$

где  $q_{крн}$  и  $q_{кр}$  – критический тепловой поток при неравномерном и равномерном тепловыделении по длине, соответственно  $F_\phi$  – фактор-формы, учитывающий влияние неравномерного тепловыделения по длине.

С учетом погрешностей расчетных формул для  $q_{кр}$  и  $F_\phi$  минимальный критический тепловой поток равен [2, 3]

$$q_m = q_{кр} F_\phi (1 - 3\sigma_{ск})(1 - 3\sigma_{скф}), \quad (2)$$

где  $q_m$  – минимальный критический тепловой поток;  $\sigma_{ск}$  – среднеквадратичная погрешность расчетной формулы для  $q_{кр}$ ;  $\sigma_{скф}$  – среднеквадратичная погрешность расчетной формулы для  $F_\phi$ .

В работах [4, 5] выполнен анализ рекомендаций по расчету  $q_{кр}$  в пучках с треугольным расположением стержней. Расчетные формулы предложены в работах [6–9], скелетные таблицы – в [10–12].

В формулы для  $q_{кр}$ , предложенные в работах [6–9], входит относительная энтальпия в сечении кризиса  $x_{кр}$ . Однако из обобщения опытных данных по критическим тепловым потокам в равномерно обогреваемых трубах известно [13–15], что формулы, в которые входит  $x_{кр}$ , имеют большую среднеквадратичную погрешность по сравнению с формулами, в которые не входит  $x_{кр}$ , при прочих равных условиях. Это объясняется тем, что в опытах величина  $x_{кр}$  не измеряется, а рассчитывается по уравнению баланса тепла, поэтому погрешность  $x_{кр}$  больше погрешности  $x_{вх}$ .

В работе рассматривается обобщение опытных данных по критическим тепловым потокам в пучках с треугольным расположением равномерно обогреваемых стержней.

### ФОРМУЛА ДЛЯ КРИТИЧЕСКОГО ТЕПЛОВОГО ПОТОКА

В упомянутые выше формулы [7–9] для расчета  $q_{кр}$  в реакторах ВВЭР в качестве параметра входит  $x_{кр}$ . Нам не известны формулы для  $q_{кр}$ , не содержащие  $x_{кр}$ . Поэтому для расчета критического теплового потока в пучках с треугольным расположением равномерно обогреваемых стержней предлагается формула, в которую не входит  $x_{кр}$ ,

$$\frac{q_{кр}}{\rho w r} = \frac{B_2 - x_{вх} + [(B_2 - x_{вх})(B_2 - x_{вх}) + 4B_3(B_1 + 4L_{кр})]^{0,5}}{2(B_1 + 4L_{кр})}, \quad (3)$$

где  $B_1 = 4 / \{0,665 a_3 Re^{-0,386} [1 + (s_0 - 1)^{0,32}]\}$ ;  $B_2 = 1 / (a_1 + a_2 We)$ ;  $B_3 = \{0,665 a_4 v Re^{-0,386} [1 + (s_0 - 1)^{0,32}]\} / 32$ ;  $We = [d_T v' (\rho w)^2] / \sigma$ ;  $Re = (\rho w d_T) / \mu'$ ;  $d_T = (4F) / \Pi_0$ ;  $L_{кр} = L_k / d_T$ ,  $v = v' / v''$ ,  $s_0 = s / d_c$ ;

$x_{вх}$  – относительная энтальпия на входе в пучок стержней;  $s$  – шаг стержней;  $d_c$  – диаметр стержней;  $d_T$  – тепловой диаметр;  $q_{кр}$  – критическая плотность теплового потока;  $gw$  – массовая скорость;  $F$  – площадь поперечного сечения пучка;  $\Pi_0$  – обогреваемый периметр пучка;  $L_k$  – расстояние от входа до места кризиса;  $r$  – теплота парообразования;  $v'$  и  $v''$  – удельный объем жидкости и пара;  $\mu'$  – вязкость жидкости;  $\sigma$  – поверхностное натяжение. При равномерном тепловыделении кризис возникает в конце канала, поэтому в этом случае  $L_k = L_0$  и  $L_{кр} = L_{от} = L_0 / d_T$ , где  $L_0$  – длина пучка.

Формула (3) получена на основании полуэмпирической модели кризиса теплоотдачи [16]. В настоящей работе ее вывод не приводится из-за большого его объема.

Формула (3) применима при  $x_{вх} < x_{ц}$ , где  $x_{вх}$  – относительная энтальпия на входе в пучок,  $x_{ц}$  – относительная энтальпия, при которой начинается интенсивный рост истинного паросодержания потока. Она рассчитывалась по формуле

$$x_{ф} = -B_1 \frac{q}{\rho w r}. \quad (4)$$

Выражение для комплекса  $B_1$  было приведено выше.

### ОПТИМИЗАЦИЯ И ПРОВЕРКА ФОРМУЛЫ (3)

Для оптимизации и проверки формулы (3) использовался массив опытных данных по кризису теплообмена в равномерно обогреваемых пучках стержней, расположенных по треугольной упаковке, из банка данных [17]. Использовались опытные данные, для которых  $L_0 > 1,7$  м;  $x_{вх} < x_{ф}$  и  $x_{кр} < 0,7$ . Величина  $x_{ф}$  рассчитывалась по формуле (4) при  $a_3 = 3,01$ , найденном из опытов (см. табл. 1). Параметры массива опытных данных приведены в табл. 1, в которой приведены число опытов, режимные параметры, размеры пучков стержней и погрешности формулы (3). При равномерном тепловыделении кризис возникает в конце канала, поэтому  $L_k = L_0$  и  $L_{кр} = L_{от} = L_0 / d_T$ , где  $L_0$  – длина пучка. Из таблицы 1 видно, что формула (3) описывает 1806 опытных значений  $q_{кр}$  с среднеарифметической  $\delta_{ар}$  и среднеквадратичной  $\sigma_{ск}$  погрешностями, равными  $\delta_{ар} = -0,0026$  и  $\sigma_{ск} = 0,0758$ .

С целью уменьшения погрешности формулы (3) весь диапазон давлений был разделен на три поддиапазона. Результаты оптимизации приведены в табл. 2, из которой видно, что формула (3) обобщает опытные данные при давлениях 0,1–5,4; 6,7–10,5 и 11,8–18,6 МПа с погрешностями, равными  $\sigma_{ск} = 0,0885$ ; 0,0777 и 0,0481

соответственно.

### СРАВНЕНИЕ ПОГРЕШНОСТЕЙ РАЗЛИЧНЫХ ФОРМУЛ

В работе [13] было проведено обобщение опытных значений  $q_{кр}$ , полученных при течении воды в равномерно обогреваемых трубах в диапазоне давлений 5,9 – 19,6 МПа. Использовалась формула  $N_{кр} - i_{вх}$ , где  $N_{кр}$  – критическая мощность,  $i_{вх}$  – энтальпия на входе в трубу. Коэффициенты в формуле оптимизировались отдельно для опытных данных, полученных при одном значении давления. Среднеквадратичные погрешности были получены равными  $\sigma_{ск}=0,0473-0,0636$  в зависимости от значения давления.

В работе [14] было проведено обобщение опытных значений  $q_{кр}$ , полученных при течении воды в равномерно обогреваемых трубах. Предложена формула  $N_{кр} - i_{вх}$ , которая в диапазоне давлений 6,9–13,7 МПа обобщает 2679 опытных значений  $q_{кр}$  со среднеквадратичной погрешностью  $\sigma_{ск}=0,0616$ . Значения среднеквадратичных погрешностей, полученные в [13, 14] для труб, лишь незначительно меньше погрешности формулы (3) (см. табл. 1). Большую погрешность (3) по сравнению с погрешностями формул [13, 14] можно объяснить тем, что (3) применима в более широких диапазонах параметров, и тем, что пучки стержней являются более сложными каналами по сравнению с трубами. Сравнение погрешности формулы (3) с погрешностями формул [13, 14] для труб приведено потому, что, насколько нам известно, для пучков с треугольным расположением равномерно обогреваемых стержней нет формул для  $q_{кр}$ , не содержащих  $x_{кр}$ .

В работе [4] было проведено сравнение трех формул, предложенных в [7–9] для расчета  $q_{кр}$  в пучках ВВЭР с треугольным расположением стержней, с опытными данными, полученными в тех же диапазонах параметров, в которых получены расчетные формулы. Были использованы 903 опытных значений  $q_{кр}$  из банка [4], полученных при давлениях 7,5–16,9 МПа, массовых скоростях 714 – 3720 кг/(м<sup>2</sup>·с) и паросодержаниях 0–0,4. Результаты этой проверки показали, что предложенные

Таблица 1

**Диапазоны параметров, число опытов и погрешности, с которыми формула (3) обобщает опытные данные по  $q_{кр}$**

Параметры	$x_{вх} < x_{кр} L_o > 1,7m, x_{кр} < 0,7$
Число опытов $N$	1806
Давление $p$ , МПа	0,1 – 18,6
Массовая скорость $w$ , кг/(м <sup>2</sup> ·с)	49–3810
Относительная энтальпия на входе $x_{вх}$	–0,857 – –0,019
Относительная энтальпия на выходе $x_{кр}$	–0,086 – 0,700
Диаметр стержней $d_s$ , мм	9,0 – 13,5
Гидравлический диаметр $d_h$ , мм	11,0 – 22,9
Относительный шаг стержней $s_o$	1,32 – 1,52
Длина стержней $L_s$ , мм	1930 – 3540
Относительная длина стержней $L_{от}$	109 – 285
Число стержней $n_c$	7; 19
Критический тепловой поток $q_{кр}$ , МВт/м <sup>2</sup>	0,069 – 2,63
Коэффициент $a_1$	1,59
Коэффициент $a_2$	0,00102
Коэффициент $a_3$	3,01
Коэффициент $a_4$	2,94
Относительная погрешность	–0,245 – 0,314
Среднеарифметическая погрешность $\delta_{ар}$	–0,0026
Среднеквадратичная погрешность $\sigma_{ск}$	0,0758

Таблица 2

**Диапазоны параметров, числа опытов, значения коэффициентов и погрешности, с которыми формула (3) обобщает опытные данные по  $q_{кр}$**

Давление $p$ , МПа	$0,1 < p < 5,4$	$6,7 < p < 10,5$	$11,8 < p < 18,6$
Число опытов $N$	240	810	756
Массовая скорость $\rho w$ , кг/(м <sup>2</sup> ·с)	49 – 3850	249 – 3810	711–36800
Относительная энтальпия на входе $x_{вх}$	–0,468 – –0,014	–0,693– –0,062	–0,856 – –0,057
Относительная энтальпия на выходе $x_{кр}$	0,151 – 0,700	0,076–0,688	–0,086 – 0,469
Диаметр стержней $d_s$ , мм	9,0 – 13,5	9,0 – 13,5	9,0 – 9,1
Тепловой диаметр $d_t$ , мм	11,2 – 22,9	11,0 – 22,9	11,5 – 12,9
Относительный шаг стержней $s_o$	1,32 – 1,52	1,32 – 1,52	1,34 – 1,40
Длина стержней $l_s$ , мм	2500 – 3540	1750 – 2500	1730 – 3540
Относительная длина стержней $L_o$	109 – 285	109 – 277	135 – 277
Число стержней $n_c$	19	7; 19	7
Критический тепловой поток $q_{кр}$ , МВт/м <sup>2</sup>	0,068 – 2,09	0,569 – 2,63	0,480 – 1,63
Коэффициент $a_1$	1,66	1,29	1,84
Коэффициент $a_2$	0,000987	0,00102	0,00112
Коэффициент $a_3$	2,64	1,95	4,24
Коэффициент $a_4$	3,64	3,37	2,63
Относительная погрешность $\delta$	–0,175 – 0,266	–0,256 – 0,155	–0,168 – 0,151
Среднеарифметическая погрешность $\delta_{ар}$	–0,0061	–0,0011	–0,0025
Среднеквадратичная погрешность $\sigma_{ск}$	0,0885	0,0777	0,0481

в [7–9] формулы  $q_{кр} - x_{кр}$  обобщают опытные данные со среднеквадратичными погрешностями, равными 0,181, 0,170 и 0,167 соответственно. В работе [4] также сообщается, что в диапазоне давлений  $p=1,5-19,9$  МПа (т.е. вне пределов применимости формул) среднеквадратичные погрешности формул из [7–9] возрастают до 0,238; 0,273 и 0,532 соответственно. Напомним, что формула (3) обобщает опытные данные при давлениях 0,1 – 18,6 МПа со среднеквадратичной погрешностью 0,0758 (см. табл. 1).

В работе [5] было проведено сравнение расчетных рекомендаций [6, 8, 9] с опытными данными по  $q_{кр}$  в равномерно обогреваемых пучках стержней при давлениях 2,2–20,0 МПа. Было получено, что среднеквадратичные погрешности формул, предложенных в работах [6, 8, 9], равны 0,35; 0,27 и 0,17 (в диапазонах их применения); а скелетных таблиц из [10, 11] 0,43 и 0,20 соответственно.

В работе [18] была проведена проверка кода КОРСАР, в котором для расчета  $q_{кр}$  используются скелетные таблицы, предложенные в [12] для расчета  $q_{кр}$  в пучках стержней. Были использованы 2080 опытных значений  $q_{кр}$ , полученных в треугольных пучках равномерно обогреваемых стержней при давлениях 1,5–18,7 МПа. Среднеквадратичная погрешность была найдена равной  $\sigma_{ск}=0,167$ .

### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФОРМУЛЫ (3)

Для использования (3) при расчете кризиса в ВВЭР необходимо следующим образом изменить существующий метод расчета кризиса теплоотдачи при неравномерном тепловыделении по длине пучка и места кризиса, который приведен в [2, 3]. Предлагается модификация метода расчета кризиса теплоотдачи при неравномерном тепловыделении по длине пучка стержней. Заданы давление  $p$ , массовая скорость воды  $w$ , относительная энтальпия воды на входе  $x_{вх}$ , диаметр стержней  $d_c$ , шаг стержней  $s$ , обогреваемая длина стержней  $L_o$ , закон тепловыделения по длине стержней  $q_c = F(L)$ , где  $L$  – длина. Принимается некоторое значение среднего теплового потока  $q_{ср}$ , которое в последствии уточняется. Рассчитываются и строятся в зависимости от длины пучка  $L$  изменения 1) теплового потока  $q_{ст}$ , отдаваемого стенкой стержня, с учетом поправки на погрешность расчетной формулы; 2) минимального критического теплового потока при неравномерном тепловыделении по длине  $q_m$  (по формуле (2)). Анализируется взаимное расположение кривых. При необходимости задают новое значение  $q_{ср}$  и повторяют расчеты до тех пор, пока кривые  $q_{ст}$  и  $q_m$  не коснутся друг друга в одной точке. По точке касания находят значение минимального критического теплового потока  $q_m$  в месте кризиса и длины  $L_k$  ( $L_k$  – расстояние от входа до места кризиса). На этом расчет критического теплового потока и места кризиса заканчивается.

Величина  $q_{кр}$  рассчитывается по (3), которая позволяет определить изменение  $q_{кр}$  по длине пучка. Величина  $F_{ф}$  находится по формуле, предложенной в [9], или другой, аналогичной ей.

При расчете ВВЭР найденное выше значение минимального критического теплового потока в месте кризиса используется для выбора значения рабочего теплового потока и расчета величины коэффициента запаса до кризиса. Эти вопросы здесь не рассматриваются, т.к. они выходят за рамки способа расчета критического теплового потока и места кризиса.

Таким образом, критический тепловой поток и место кризиса могут быть рассчитаны без использования  $x_{кр}$ . Если при дальнейших расчетах, например, при расчете перепада давления, возникнет необходимость знания  $x_{кр}$ , то она может быть рассчитана через  $x_{вх}$  по уравнению баланса тепла.

Преимущество модифицированного метода состоит в том, что он позволяет использовать для расчета  $q_{кр}$  формулы, в которые не входит  $x_{кр}$ , и потому имеющие меньшую среднеквадратичную погрешность при прочих равных условиях.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Для расчета критического теплового потока  $q_{кр}$  предложена формула (3), в которую не входит  $x_{кр}$ . В диапазоне давлений 0,1–18,6 МПа эта формула обобщает 1806 опытных значений  $q_{кр}$ , полученных в пучках стержней, расположенных по треугольной упаковке, со среднеквадратичной погрешностью  $\sigma_{ск}=0,0758$  (см. табл. 1).

2. Формула (3) обобщает опытные данные по  $q_{кр}$  в более широких диапазонах изменения режимных параметров и с меньшей среднеквадратичной погрешностью по сравнению с формулами, предложенными в [7 – 9].

3. В интервалах давлений 0,1–5,4, 6,7–10,5 и 11,8–18,6 МПа формула (3) обобщает 240, 810 и 756 опытных значений  $q_{кр}$ , полученных в пучках стержней, расположенных по треугольной упаковке, со среднеквадратичными погрешностями  $\sigma_{ск}=0,0885$ , 0,077 и 0,0481 соответственно (см. табл. 2).

**Литература**

1. Хабенский В.Б., Зейгарник Ю.А., Малкин С.Д. Расчетные формулы для кризиса теплоотдачи при кипении в пучках стержней для контурных теплогидравлических кодов//Теплоэнергетика. – 2003. – № 11. – С. 73-77.
2. Кириллов П.Л., Юрьев Ю.С., Бобков В.П. Справочник по теплогидравлическим расчетам (ядерные реакторы, теплообменники, парогенераторы). – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 360 с.
3. Петухов Б.С., Генин Л.Г., Ковалев С.А., Соловьев С.Л. Теплообмен в ядерных энергетических установках. – М.: Изд. МЭИ, 2003. – 548 с.
4. Жуков Ю.М., Романцева Г.Е. Сравнительный анализ эмпирических корреляций для расчета кризиса теплоотдачи в пучках стержней ВВЭР//Атомная энергия. – 2006. – Т. 80. – Вып. 1. – С. 15-20.
5. Бобков В.П., Смогалева И.П. О точности описания различными кодами критических тепловых потоков в пучках стержней//Теплоэнергетика. – 2001. – № 3. – С. 23-28.
6. Biasi L., Clerici C., Garibba R. Studies on Burnout. Part 3: A new correlation for round ducts at uniform heating and its comparison with world data//Energy Nuclear. 14. P. 530-536.
7. Смолин В.Н., Поляков В.К. Критический тепловой поток при продольном обтекании пучка стержней//Теплоэнергетика. – 1967. – № 4. – С. 54-58.
8. Осмачкин В.С., Лыцова Н.Н. Сравнение опытных данных по условиям кризиса теплообмена в моделях топливных сборок реакторов ВВЭР с результатами расчета по методике ИАЭ/Препринт ИАЭ-2558, 1975.
9. Безруков Ю.А., Астахов В.И., Брантов В.Г., Абрамов В.И., Логвинов С.А., Рассохин Н.Г. Экспериментальное исследование и аналитический анализ данных по кризису теплообмена в пучках стержней для реакторов ВВЭР//Теплоэнергетика. – 1976. – № 2. – С. 80-82.
10. Thermohydraulic Relationships in Advanced Water Cooled Reactors. Working Materials. A General CHF Prediction Method for Advanced Water-cooled Reactors. (Chapter 3. Edited by Groeneveld C.D.). 1998.
11. Бобков В.П., Виноградов В.Н., Кириллов П.Л., Смогалева И.П. Критические тепловые потоки в треугольных пучках стержней. (Скелетные таблицы, версия 1997 г.)//Теплоэнергетика. – 1999. – № 11. – С. 54-63.
12. Бобков В.П., Виноградов В.Н., Кириллов П.Л., Смогалева И.П. Табличный метод расчета критического теплового потока в водоохлаждаемых треугольных сборках стержней//Атомная энергия. – 1999. – Т. 87. – Вып. 1. – С. 17-24.
13. Зенкевич Б.А., Песков О.Л., Петрищева Г.А., Сергеев Н.Д., Субботин В.И. Анализ и обобщение опытных данных по кризису теплоотдачи при вынужденном течении кипящей воды в трубах. – М.: Атомиздат. 1969. 432 с.
14. Кириллов П.Л., Бобков В.П., Виноградов В.Н., Ивашкевич А.А., Песков О.Л., Смогалева И.П. Рекомендации по расчету кризиса теплообмена в трубах на основе банка экспериментальных данных//Атомная энергия. – 1985. – Т. 59. – Вып. 1. – С. 3-8.
15. Ивашкевич А.А. Выбор параметров для обобщения опытных данных по критической плотности теплового потока при течении воды в трубах//Теплоэнергетика. – 2000. – № 5. – С. 43-45.
16. Ивашкевич А.А. Приближенная модель кризиса кипения воды в длинных равномерно обогреваемых трубах (нелинейное приближение)/Препринт ФЭИ-2352. 1994. 18 с.
17. Бобков В.П., Блохин А.И., Ивашкевич А.А., Катан И.Б., Кирова Т.С., Песков О.Л. Центр теплофизических данных для ядерных энергетических установок//Атомная энергия. – 1982. – Т. 53. – Вып. 3. – С. 183-184.
18. Бобков В.П., Виноградов В.Н., Ефанов А.Д., Сергеев В.В., Смогалева И.П. Обоснование и верификация модели кризиса теплообмена в пучках стержней теплогидравлического кода КОРСАР//Теплоэнергетика. – 2003. – № 3. – С. 16-19.

Поступила в редакцию 1.09.2008



The paper presents the results of experimental investigation of changes in physical characteristics of the SM reactor core in the course of its conversion to new fuel with the increased content of U-235 in a fuel rod. The methodical peculiarities of the experiments are described. The functional dependences and values of the temperature and power coefficients of reactivity have been determined as well as the effectiveness and calibration characteristics of the control rods and reactivity effects when reloading the fuel assemblies. The performed micro-runs have been analyzed in terms of the feasibility of the reactor with pilot fuel assemblies. Data have been obtained to introduce changes into the reactor design documents and to revise the safety analysis. Based on the obtained results, the recommendations have been made on the possibility to use the new pilot fuel assemblies as standard ones.

#### УДК 621.039.52:615.849.1

*Subcritical Systems for Neutron Therapy: Simulation Techniques & Performance Criteria* \Yu.A. Kurachenko; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2009. – 9 pages, 3 tables, 7 illustrations. – References, 11 titles.

Simulation techniques based on combined transport codes application to new neutron facilities beams are proposed. «In air» & «in phantom» characteristics of the facilities are optimized for the neutron capture therapy. It is displayed that new facilities provide absolute safety, simplicity of technology and exploiting; they are highly competitive with these existing and designing ones for the neutron capture therapy.

#### УДК 621.039.553.34

*Status of Study on Heat Transfer in Fuel Pin Bundles and Some Problems of Liquid-Metal Cooling* \A.V. Zhukov, J.A. Kuzina, A.P. Sorokin; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2009. – 14 pages, 1 table, 11 illustrations. – References, 28 titles.

Data on heat transfer and temperature fields of fuel pins in triangular and square lattices with liquid-metal cooling are systematized. Necessity of detailed additional studies for square pin lattices is emphasized.

#### УДК 621.039.51:536.248.2

*The generalize of Experimental Data on the Critical Heat Flux in the Clusters with Triangular Disposition of Rods* \A.A. Ivashkevitch; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2009. – 6 pages, 2 tables. – References, 18 titles.

The correlation for the critical heat flux in form  $q_{кр} = x_{bx} L_k$  in the uniformly heated clusters with the triangular disposition of the rods is obtained. As compared with the early suggested correlations the proposed correlation generalizes the experimental data in the more broad diapasons of the regime parameters and with smaller standard deviation.

#### УДК 621.039.58:532.529.5

*Experimental Study of Non-equilibrium Thermal-hydraulic Processes in a Passive VVER Core Reflooding System* \A.V. Morozov, O.V. Remizov, A.A. Tsyganok; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2009. – 9 pages, 1 table, 8 illustrations. – References, 5 titles.

The paper presents the results of experimental investigations of the interaction between saturated steam and cold water at its flowing out from a vertical tube of the passive VVER core reflooding system from the second-stage hydroaccumulators. A physical model of the process of water outflow into countercurrent saturated steam flow in a vertical blanked-off tube with a variable level has been proposed. The semi-empirical correlation has been obtained for calculating the time of discharge from vertical blanked-off tubes.

#### УДК 621.039.58:536.423

*Experimental Measurement of the Thermal Capacity of the VVER Steam Generator Model in Condensation Mode in the Event of the Beyond Design Basis Accident* \A.V. Morozov, O.V. Remizov, A.A. Tsyganok, D.S. Kalyakin; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2009. – 8 pages, 7 illustrations. – References, 4 titles.

The experimental measurement of the thermal capacity of the VVER steam generator model in