

## **СНИЖЕНИЕ МОЩНОСТИ ПАРОГЕНЕРАТОРА АЭС С ВВЭР ВСЛЕДСТВИЕ ОТЛОЖЕНИЙ НА ТРУБАХ**

**А.А. Лукьянов, В.Б. Смыков, Ю.С. Юрьев**

*ГНЦ РФ Физико-энергетический институт им. А.И. Лейпунского, г. Обнинск*



Получены аналитические зависимости для оценки изменения распределения температуры и теплового потока вдоль парогенерирующей трубы и снижения мощности парогенератора.

Образование отложений в парогенераторах ТЭС и АЭС относится к разряду «вечных» проблем энергетики. Смоделировать образование отложений и оценить их влияние (в том числе локальное) на теплопередачу является задачей, поставленной практикой.

Современный подход к расчету горизонтального парогенератора (ПГ) типа ПГВ-1000 включает в себя определение [1]:

- поля скорости смеси;
- температуры труб и теплоносителя в них;
- мощности ПГ;
- распределения паросодержания;
- распределения питательной воды;
- паровой нагрузки зеркала;
- величины вспучивания смеси;
- характеристик погружного дырчатого листа;
- характеристик продувки;
- массопереноса примесей, вносимых в объем воды ПГ;
- скорости образования отложений продуктов коррозии на трубах;
- скорости образования шлама;
- степени локального концентрирования коррозионно-активных примесей;
- скорости коррозии металла труб и корпуса;
- снижения прочности корпуса ПГ и др.

Эти задачи решаются с помощью кодов разной степени детализации [2–7].

Для решения поставленной теплофизической задачи необходимо получить зависимость скорости отложений от теплового потока.

Источником примесей и растворимых, и нерастворимых является питательная вода, поступающая в водный объем ПГ из второго контура.

Рассмотрим упрощения и допущения вспомогательной задачи массопереноса растворимых примесей для решения основной теплофизической задачи [9–12].

Средняя массовая скорость пара (индекс ") от стенки равна [13]

$$j'' = \rho'' w'' = \frac{q}{r} \left( 1 - \frac{\rho''}{\rho'} \right), \quad (1)$$

где  $r$  – удельная теплота испарения.

В стационарном случае она равна по модулю средней массовой скорости воды (индекс ') к стенке

$$|j'| = |\rho' w'| = \rho'' w'' = \frac{q}{r} \left( 1 - \frac{\rho''}{\rho'} \right). \quad (2)$$

Полагаем, что средняя массовая концентрация растворенной (индекс  $P$ ) примеси в воде  $\bar{\rho}_P$ , кг/м<sup>3</sup>. Тогда средний массовый поток примеси вместе с водой к стенке равен

$$|j'_P| = |\bar{\rho}_P w'| = \frac{q}{r} \left( 1 - \frac{\rho''}{\rho'} \right) \frac{\bar{\rho}_P}{\rho'}. \quad (3)$$

Вода вместе с растворимыми примесями поступает к основанию пузырька, испаряется в него. Концентрация примесей возрастает вплоть до предела растворимости (5), и происходит выпадение примесей в зоне (4). Однако при отрыве пузырька, благодаря притоку воды и возмущению пограничного слоя, часть выпавших примесей смывается в поток. Поэтому массовый поток примеси, образующий на стенке (индекс  $C$ ) слой отложений, оказывается меньше

$$|j_{PC}| = |\bar{\rho}_P w'| \chi_P = \frac{q}{r} \left( 1 - \frac{\rho''}{\rho'} \right) \frac{\bar{\rho}_P}{\rho'} \chi_P. \quad (4)$$

Величина коэффициента уноса  $\chi_P$  оценена в [14]. Массовый поток примеси с паром (индекс  $\Pi$ ) от стенки (механический унос с пузырями) есть

$$j_{P\Pi} = \frac{q}{r} \left( 1 - \frac{\rho''}{\rho'} \right) \frac{\bar{\rho}_{P\Pi}}{\rho'}. \quad (5)$$

Массовый поток примеси от стенки путем обратной турбулентной диффузии (индекс  $D$ ) в водной фазе

$$j_D = \frac{\rho_{PC} - \bar{\rho}_P}{\rho'} \beta. \quad (6)$$

Здесь  $\beta = D\alpha/\lambda'$  – коэффициент массоотдачи (м/с), который можно связать с коэффициентами диффузии ( $D$ ) и теплоотдачи ( $\alpha \sim q_F^{0.7}$  при кипении).

В результате можно получить итоговый поток осаждения на стенку в форме

$$|j_{PC}| = \frac{q}{r} \left( 1 - \frac{\rho''}{\rho'} \right) \frac{\bar{\rho}_P}{\rho'} \chi_P \approx \frac{q}{r} \left( 1 - \frac{\rho''}{\rho'} \right) \left( \frac{\bar{\rho}_P - \rho_{P\Pi}}{\rho'} \right) - \left[ \frac{[\rho_P] - \bar{\rho}_P}{\rho'} \right] \frac{D\alpha_{\text{ном}}}{\lambda'} \left( \frac{q}{q_{\text{ном}}} \right)^{0.7}, \quad (7)$$

где  $[\rho_P]$  – предел растворимости; ном – номинальное значение (из проектных расчетов).

При малых тепловых потоках  $q < [q]$  турбулентная диффузия от движения пузырей образует обратный поток примеси от стенки. Только начиная с некоторого порогового значения  $[q]$ , поток примеси к стенке образует пленку отложений.

Зависимость потока осаждения примесей от теплового потока становится тогда нелинейной (кривая 3 на рис. 1), например, она может быть принята степенной  $|j_{PC}| \sim q^m$ ,  $m > 1$ . Постулированные выше механизмы массопереноса далее считаем применимыми на всем этапе отложения примесей.

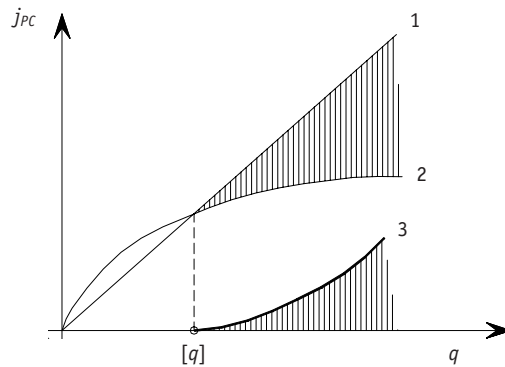


Рис. 1. Характер зависимости потока осаждения примеси на стенку от величины теплового потока: 1 – поток осаждения с учетом механического уноса пузырями; 2 – поток диффузионного оттока; 3 – результирующий поток осаждения

В случае нерастворимых примесей (индекс  $H$ ) задача усложняется.

Траектории твердых частиц рассчитываются путем интегрирования уравнений движения в потоке со сдвигом [15]. Однако для нестабилизированного двухфазного потока в межтрубном пространстве ПГ такой путь бесперспективен. Поэтому будем полагать, что «мелкая» фракция дисперсной примеси будет «вморожена» в поток, а ее движение описывается уравнениями, аналогичными (1)–(7). «Крупная» фракция дисперсной примеси, поднесенная потоком воды к поверхности, вероятно, не сможет проникнуть в каналы пористого слоя и остается витать в потоке. Ее массовую долю обозначим  $\mu_H$ , а поправочный коэффициент будет равен  $\chi_H = 1 - \mu_H < 1$ .

Суммарный ( $\Sigma$ ) поток осаждения и растворимых, и нерастворимых примесей запишется тогда в виде

$$|j_C^\Sigma| = \frac{q}{r} \left( 1 - \frac{\rho''}{\rho'} \right) \left[ \frac{\bar{\rho}_P}{\rho'} \chi_P + \frac{\bar{\rho}_H}{\rho'} \chi_H \right]. \quad (8)$$

Таким образом, в первом приближении поток осаждения примесей на стенку пропорционален тепловому потоку. Уточнение типа  $|j_C^\Sigma| \sim q^m$ ,  $m < 1$  всегда может быть сделано с использованием опытных данных и результатов эксплуатации ПГ, с применением эмпирических коэффициентов  $\chi_P$ ,  $\chi_H$ .

Для решения теплофизической задачи рассмотрим единичную трубу парогенератора ПГВ-1000 (рис. 2).

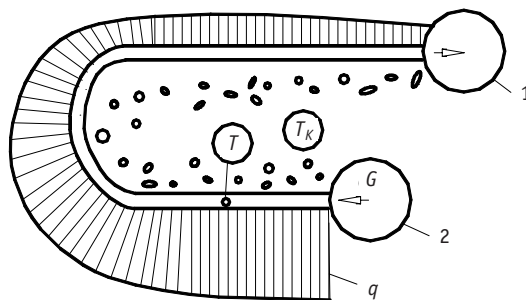


Рис. 2. Схема парогенерирующей трубы горизонтального парогенератора: 1 – «горячий» коллектор; 2 – «холодный» коллектор;  $G$  – расход воды II контура с температурой  $T$ ;  $T_K$  – температура кипения

Уравнение энергии греющего теплоносителя вдоль пути «s»:

$$G c_p = \frac{d(T - T_K)}{ds} = -\Pi q, \quad (9)$$

где  $\Pi$  – периметр трубки, м.  
Плотность теплового потока

$$q = \frac{T - T_K}{\frac{1}{k} + \frac{\delta_0}{\lambda_0}}, \quad (10)$$

где  $k$  – коэффициент теплопередачи без отложений (в начале работы ПГ)

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_c}{\lambda_c} + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad (11)$$

$\delta_0/\lambda_0$  – термическое сопротивление слоя отложений продуктов коррозии, образовавшихся на греющей поверхности трубы, [м<sup>2</sup> К/Вт].

Толщина отложений, [м];

$$\delta_0 = \int_0^t w_0 dt, \quad (12)$$

где  $w_0$  – скорость образования отложений, [м/с].

Скорость накопления примеси на стенке

$$w_0 = \frac{q}{r \rho_0} \left( 1 - \frac{\rho''}{\rho'} \right) \left[ \frac{\bar{\rho}_p}{\rho'} f_p \chi_p + \frac{\bar{\rho}_H}{\rho'} f_H \chi_H \right] dt, \quad (13)$$

где  $\rho_0$  – плотность материала отложений, кг/м<sup>3</sup>,  $f_p, f_H$  – безразмерные функции распределения концентрации примесей по длине трубки.

Таким образом, возвращаясь к (12), толщину отложений записываем в виде:

$$\delta_0 = \int_0^t \frac{q}{r \rho_0 \left( 1 - \frac{\rho''}{\rho'} \right) \left[ \frac{\bar{\rho}_p}{\rho'} f_p \chi_p + \frac{\bar{\rho}_H}{\rho'} f_H \chi_H \right]} dt. \quad (14)$$

Полученные уравнения в компактной форме имеют вид:

$$\frac{d(T - T_K)}{ds} = -\frac{\Pi}{G c_p} q, \quad (15)$$

$$q = \frac{(T - T_K)}{\frac{1}{k} + \int_0^t \frac{q}{r \lambda_0 \rho_0 \left( 1 - \frac{\rho''}{\rho'} \right) \left[ \frac{\bar{\rho}_p}{\rho'} f_p \chi_p + \frac{\bar{\rho}_H}{\rho'} f_H \chi_H \right]} dt}. \quad (16)$$

Начальные распределения при  $t = 0$

$$\begin{cases} \frac{d(T_0 - T_K)}{ds} = -\frac{\Pi}{G c_p} q = -\frac{\Pi k}{G c_p} (T_0 - T_K) \\ q_0 = (T_0 - T_K) k \end{cases}. \quad (17)$$

Откуда:

$$\begin{cases} T_0 - T_K = (T_0^{\text{вх}} - T_K) e^{-\frac{\Pi k}{G c_p} S} \\ q_0 = k (T_0^{\text{вх}} - T_K) e^{-\frac{\Pi k}{G c_p} S} \end{cases}. \quad (18)$$

В частном случае  $\bar{\rho}_p = const, \bar{\rho}_H = const, \chi_p = const, \chi_H = const$  и  $f_p = f_H = 1$  можно получить компактное обобщенное решение.

Для этого выберем масштабы температуры  $(T_0^{bx} - T_K)$  и теплового потока  $q_0^{bx} = k(T_0^{bx} - T_K)$  и переведем (15) и (16) в безразмерную форму:

$$\frac{\partial \theta}{\partial \sigma} = -Q, \quad (19)$$

где  $\theta = \frac{T - T_K}{T_0^{bx} - T_K}$ ;  $Q = \frac{q}{q_0^{bx}}$ ;  $\sigma = \frac{sk\Pi}{Gc_p}$  – безразмерная координата.

$$\theta = Q \left[ 1 + \int_0^t Q d\tau \right], \quad (20)$$

где  $d\tau = \frac{kq_0^{bx}}{\rho_0 r \lambda_0} \left( \frac{\bar{\rho}_p}{\rho'} \chi_p + \frac{\bar{\rho}_H}{\rho'} \chi_H \right) dt = \frac{k^2(T_0^{bx} - T_K)}{\rho_0 r \lambda_0} \left( \frac{\bar{\rho}_p}{\rho'} \chi_p + \frac{\bar{\rho}_H}{\rho'} \chi_H \right) dt$ ;  $\tau$  – безразмерное время, являющееся критериальной величиной

$$\tau = \frac{k^2(T_0^{bx} - T_K)}{\rho_0 \lambda_0 r} \int_0^t \left( \frac{\bar{\rho}_p}{\rho'} \chi_p + \frac{\bar{\rho}_H}{\rho'} \chi_H \right) dt. \quad (21)$$

Важно, что это не «календарное» время, а «эффективное», учитывающее возможное изменение теплового потока и концентрации примеси во времени.

Итак, задача свелась к системе нелинейного интегрального и дифференциального уравнения по обеим переменным  $\sigma$  и  $\tau$  в форме:

$$\begin{cases} \theta = Q \left[ 1 + \int_0^{\tau} Q d\tau \right] \\ \frac{\partial \theta}{\partial \sigma} = -Q \end{cases}. \quad (22)$$

Краевые условия:

$$\begin{aligned} \text{при } \tau = 0 & \quad \theta = 1 \\ \sigma = 0 & \quad Q = 1. \end{aligned}$$

Система имеет универсальный, классический характер, т.е. не содержит никаких коэффициентов, кроме единицы. Основное допущение при ее выводе – «медленное» нарастание слоя отложений и линейная зависимость скорости отложений от теплового потока.

Для «малых» времен  $\tau$  учтем начальные распределения при  $\tau = 0$

$$\theta_0 = Q_0 = e^{-\sigma}$$

и запишем систему (22) в виде:

$$\theta = \exp \left\{ - \int_0^{\sigma} \left[ 1 - \int_0^{\tau} \left( \frac{d\theta}{d\sigma} \right) d\tau \right]^{-1} d\sigma \right\}.$$

Далее получаем первое приближение

$$\theta_1 = e^{-\sigma} \frac{(1 + \tau)}{(1 + \tau e^{-\sigma})}. \quad (23)$$

Пусть длина трубы ПГ  $s_1$ , что соответствует  $\sigma_1$ . Выходная температура воды

$$\theta_1 = e^{-\sigma_1} \frac{(1 + \tau)}{(1 + \tau e^{-\sigma_1})}.$$

Снижение температуры воды на длине  $\sigma_1$

$$\Delta\theta = 1 - e^{-\sigma_1} \frac{(1+\tau)}{(1+\tau e^{-\sigma_1})}.$$

Без учета примесей ( $\tau = 0$ ),  $\theta_{10} = 1 - e^{-\sigma_1}$

$$\Delta\theta_0 = 1 - e^{-\sigma_1}.$$

Коэффициент снижения мощности продувки  $\eta_\tau = \Delta\theta/\Delta\theta_0$  равен

$$\eta_\tau = \frac{1 - e^{-\sigma_1} \left( \frac{1+\tau}{1+\tau e^{-\sigma_1}} \right)}{1 - e^{-\sigma_1}} \approx \frac{1}{1+\tau \theta_{10}} = \frac{1}{1+\tau e^{-\sigma_1}}. \quad (24)$$

Определим время снижения мощности трубы ПГ на 10%. Обозначим это время  $t_{0,1}$ . При этом  $\eta_\tau = 0,9$ ;  $\tau_{0,1}\theta_{10} = 0,11$ , а значит

$$t_{0,1} = \frac{0,11\lambda_0 r \rho_0}{k^2(T_{f1}^0 - T_s)\chi_0} \frac{1}{\left( \frac{\bar{\rho}_p}{\rho'} \chi_p + \frac{\bar{\rho}_H}{\rho'} \chi_H \right)}. \quad (25)$$

Например, для  $\lambda_0 = 3$  Вт/мК,  $r = 2 \cdot 10^6$  Дж/кг,  $\rho_0 = 5 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>,  $k = 10^3$  Вт/м<sup>2</sup>К,  $\chi_p = \chi_H = 1$ ,  $\rho_p/\rho' = 10^{-5}$ , получим  $t_{0,1} \sim 10^4$  ч  $\sim 1$  год.

Естественно, это время обратно пропорционально концентрации примесей в смеси ( $\rho_p/\rho'$ ). Отметим сильную зависимость этой величины от исходного коэффициента теплопередачи ( $k^{-2}$ ). Это означает, что «эффективный» ПГ чувствительнее к отложениям, чем «неэффективный» ПГ, или «чистый» ПГ чувствительнее к появлению отложений, чем ПГ с уже имеющимися отложениями.

Система (22) была решена численно (см. рис. 3, 4 [14]).

В них даны  $\theta = \theta(\tau, \sigma)$ ;  $Q = Q(\tau, \sigma)$ .

Полученные результаты относятся к случаю *линейной* зависимости скорости отложений от теплового потока ( $\chi_0 = \text{const}$ ). Возможно уточнение методики для нелинейной функции скорости отложений от теплового потока.

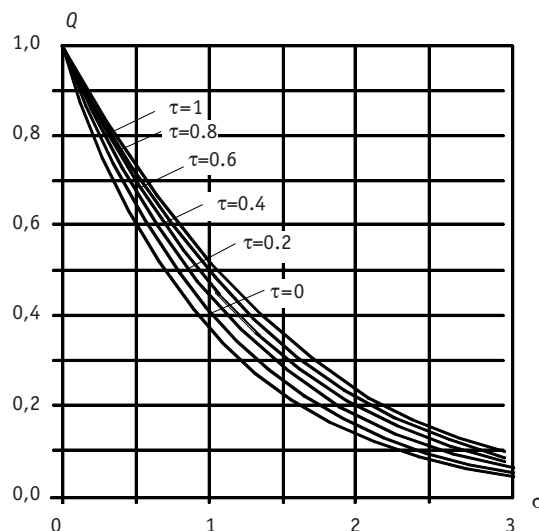


Рис. 3. Безразмерная температура теплоносителя  $\theta$  как функция безразмерной координаты  $\sigma$  во времени  $\tau$

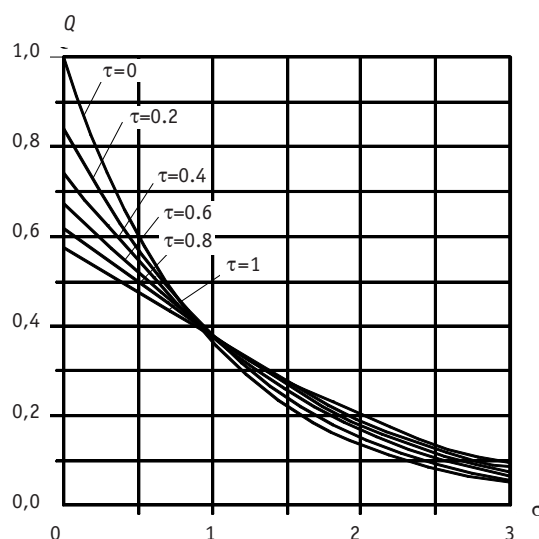


Рис. 4. Безразмерный тепловой поток  $Q$  как функция безразмерной координаты  $\sigma$  во времени  $\tau$

## ВЫВОДЫ

1. В дополнение к численному решению трехмерной общей задачи тепло- и массопереноса в объеме горизонтального ПГ типа ВВЭР получены универсальные формулы и графики для оценки влияния роста отложений на одной трубке ПГ на ее теплогидравлические характеристики. Для оценки общего эффекта следует просуммировать его по группам трубок, находящихся в одинаковых условиях.

2. Критериальное время процесса зависит от средней концентрации примесей, теплопроводности слоя отложений и квадрата исходного коэффициента теплопередачи. Это указывает на особую важность применения полученных результатов для высокоэффективных аппаратов.

3. Критериальное время процесса позволяет в принципе проводить обобщения опытных данных и результатов эксплуатации ПГ по снижению мощности за счет отложений.

## Литература

1. Трунов Н.Б., Логвинов С.А., Драгунов Ю.В. Гидродинамические и теплохимические процессы в парогенераторах АЭС с ВВЭР. – М.: Энергоатомиздат, 2001.
2. Горбуров В.И., Зорин В.М. Моделирование на ЭВМ гидродинамики водяного объема парогенератора ПГВ-1000//Теплоэнергетика. – 1994. – №5. – С. 22-29.
3. Titov V.F., Zorin V.M., Gorburov V.J. Mathematical Simulation of Process in Horizontal Steam Generators and the Program of Calculation of Its Characteristics/Proceedings of third international Seminar on horizontal steam generators (Lappeenranta, Finland, 1995). – P. 64-70.
4. Ubra O., Doubek M. Horizontal steam generator PGV-1000 thermal-hydraulic analysis/Proceedings of third international Seminar on horizontal steam generators (Lappeenranta, Finland, 1995). – P. 107-117.
5. Melikhov V.I., Melikhov O.I., Nigmatulin B.I. Numerical modeling of secondary side thermohydraulics of horizontal steam generator/Proceedings of third international Seminar on horizontal steam generators (Lappeenranta, Finland, 1995). – P. 249-270.
6. Юрьев Ю.С., Лукьянов А.А., Канухина С.В., Смыков В.Б. Математическое моделирование тепло-массообмена в межтрубном пространстве горизонтального парогенератора ВВЭР/Препринт ФЭИ-2823. – Обнинск, 2000.
7. Ермолаев Н.П., Смыков В.Б., Шевченко Н.Н. Проблемы водно-химических режимов первых и вторых контуров АЭС с водоохлаждаемыми реакторами/Под общей ред. акад. В.И. Субботина/Препринт ФЭИ-2333. – Обнинск, 1993.

8. Герасимов В.В., Касперович А.И., Мартынова О.И. Водный режим атомных электростанций. – М.: Атомиздат, 1976. – С. 138.
9. Анисимов В.В., Кащеев В.М., Муранов Ю.В., Юрьев Ю.С. Одномерная модель осаждения примесей в парогенерирующих трубах/Препринт ФЭИ-1897. – Обнинск, 1988.
10. Канухина С.В., Юрьев Ю.С. Численное исследование двумерных двухфазных нестационарных потоков в каналах в режиме пузырькового кипения: Обзор, ФЭИ-0224. – М.: ЦНИИИАтоминформ, 1988.
11. Юрьев Ю.С., Кащеев В.М., Муранов Ю.В., Пирогов Э.П. Теплофизические модели отложения примесей в парогенерирующих трубах/Препринт ФЭИ-2074. – Обнинск, 1990.
12. Кириллов П.Л., Юрьев Ю.С., Бобков В.П. Справочник по теплогидравлическим расчетам (ядерные реакторы, теплообменники, парогенераторы). – М.: Энергоатомиздат, 1990.
13. Кащеев В.М., Муранов Ю.В., Юрьев Ю.С. О скорости парообразования у обогреваемой стенки //ТВТ. – 1987. – Т. XXIV. – № 1. – С. 189-190.
14. Юрьев Ю.С., Лукьянов А.А., Смыков В.Б., Божков А.А., Морозова С.И. Оценка снижения мощности трубы горизонтального парогенератора вследствие образования отложений/Препринт ФЭИ-2969. – Обнинск, 2003.
15. Нигматуллин Р.И. Динамика многофазных сред. – М.: Наука, 1987.

Поступила в редакцию 5.02.2007



Contribution of ( $\gamma$ , n) reactions to entire neutron intensity of WWER-1000 spent fuel was estimated according with his burn-up degree.

**УДК 621.039.542:536.24**

*Experimental Researches of Direct Contact Steam Generators Characteristics with Heavy Liquid Metal Heat-Carriers* \A.V. Beznosov, T.A. Bokova, S.U. Savinov, P.A. Bokov, M.D. Zefirov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yademaya energetika» (Communications of Higher School. Nuclear Power Engineering). – Obninsk, 2008. – 10 pages, 8 illustrations. – References – 4 titles.

Experimental researches of direct contact lead and lead-bismuth heat-carriers steam generators elements characteristics are resulted.

The water-steam phase input and dispergation devices entered into liquid metal, formed bubbles sizes, the bubbles emersion speed, characteristics of heat exchange between liquid metal and bubbles were researched. Experiments were conducted under a range of lead and lead-bismuth eutectic temperatures 350-550°C; pressure of submitted water 0,2-8,0 MPa; forming bubble and the jet (torch) outflow charges of water up to 200 kg/h; durable liquid metal free surface steam loading up to 10,0 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>h.

**УДК 621.039.534**

*Numerical Modeling of Fragmentation in Liquid Media with Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH) Method* \A.P. Vorobev, V.I. Kriventsev, Qian Lin, Xuewu Cao; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yademaya energetika» (Communications of Higher School. Nuclear Power Engineering). – Obninsk, 2008. – 10 pages, 3 illustrations. – References – 10 titles.

An application of the Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH) method to liquid media fragmentation is demonstrated. Sample hydrodynamics problems are solved numerically. The detailed mathematical explanation of the method is given for non-viscous fluid approach while using artificial dissipative term applied in the Euler equation.

**УДК 536.24.621.039.526**

*Natural Convection Specificity in Complex Loops* \S.G. Kalyakin, Yu.P. Djusov, Yu.Yu. Shteyn, Yu.V. Klimanov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yademaya energetika» (Communications of Higher School. Nuclear Power Engineering). – Obninsk, 2008. – 10 pages, 1 table, 5 illustrations. – References – 10 titles.

Now the natural convection is of great interest for many researchers from the point of view its use in the systems of passive cooling and removal of residual heat from nuclear reactor core at accident situations. Due to it investigation of the natural convection specificity is rather actual and useful for the NPP safety validation.

In this paper the investigation of natural convection evolution dynamics in closed loop is presented and the character of flow parameters changing in dependence of different factors (heat generation intensity, loop geometry) is shown.

**УДК 621.039.564**

*Choosing of Frequency Range for Thermocorrelation Flowmeter* \B.V. Keadze, V.A. Shurupov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yademaya energetika» (Communications of Higher School. Nuclear Power Engineering). – Obninsk, 2008. – 7 pages, 1 table, 1 illustration. – References – 8 titles.

Thermocorrelation method is widely used at test facilities and reactors in particular for flow measurement in fuel subassemblies. The experiments at flow calibration rig and reactor loop using hardware and digital filters suggested strong dependence of booth systematic and statistical error from frequency range chosen. Some practical recommendations are given for different conditions with the aim to minimize total error.

**УДК 532.542:621.181.6**

*The Reduce of VVERs Steam Generator Power Output due to Deposits on the Tubes* \A.A. Lukyanov, V.B. Smykov, Yu.S. Yuriev; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yademaya

*energetica» (Communications of Higher School. Nuclear Power Engineering). – Obninsk, 2008. – 8 pages, 4 illustrations. – References – 15 titles.*

Analytical relationships were obtained for estimating how the distribution of temperature and heat flux vary along a steam-generating tube and how the steam generator power output reduces due to formation and accumulation of deposits.

#### **УДК 621.039.532.21**

*Analytical Scheme of Defects Evolution in the Crystal Lattice of Graphite at the Reactors Irradiation \V.N. Nesterov, I.V. Shamanin, E.G. Emets, A.A. Tsyganov, S.G. Kotlyarevsky, A.O. Pavlyuk; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher School. Nuclear Power Engineering). – Obninsk, 2008. – 9 pages, 1 table, 7 illustrations. – References – 3 titles.*

The article is devoted to the analytical description of the damage and restoration process in the crystal structure of reactors graphite. The basic criterion of graphite serviceability is the degree of achievement critical fluence of damaging neutrons. The defects formation process analytical scheme describing the change of atoms number of crystal lattice, simple and complex defects was developed. On the basis of the scheme the system of the differential equations is made. The analysis of the solving of equations system and experimental data on the accumulating energy (Wigners energy) for industrial uranium – graphite reactors has allowed determining the dependence of a recombination constant for dot defects from temperature of an irradiation. Comparison of calculated and experimental dependences of the critical fluence from temperature of an irradiation, and also calculated and experimental asymptotes dependences of Wigners energy on time of an irradiation of graphite is carried out.

#### **УДК 621.039.52:615.849.1**

*Reactor Beam Removal Unit Optimization for Neutron Therapy \Yu.A. Kurachenko; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher School. Nuclear Power Engineering). – Obninsk, 2008. – 10 pages, 1 illustration. – References – 10 titles.*

The REMP1 routine shielding optimization code is described as well as new OPT1D & OPT2D codes are introduced. These newly developed program systems are based on integration of the universal nonlinear programming search technique and well-known transport ROZ-6 (1D) and KASKAD (2D) codes. New software is tested for efficiency on a series of optimization problems of increasing complexity arisen in beam removal unit calculation for the “MARS” neutron therapy reactor facility.

#### **УДК 621.039.52:615.849.1**

*Neutron Therapy Beams Performance Criteria \Yu.A. Kurachenko, Yu.A. Kazansky, A.V. Eu.S. Matusevich; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher School. Nuclear Power Engineering). – Obninsk, 2008. – 11 pages, 3 tables, 3 illustrations. – References – 10 titles.*

The performance criteria (PCRs) for neutron beams designed for neutron capture therapy (NCT) are classified and replenished. The PCRs differentiation is made to distinct clearly the primary (“in phantom”) & secondary (“in air”) of them. Both kinds of PCRs are tested for existing and designed NPPs, namely, the VVRc, “MARS” and HWR-50 reactors. The PCRs comparison is made with the FCBeam MIT which is stated overall as a reference one for the NCT. A conclusion of the secondary criteria necessary verification by the primary ones is drawn. The designed NCT beams competitiveness, based on calculation performed, is proved. Furthermore, reasonability of the fast neutron therapy enhancement by the NCT is validated.