

УДК 621.039.526

ВЛИЯНИЕ ОТКЛОНЕНИЙ ГЕОМЕТРИИ ТРАКТА ДВУХПЕТЛЕВОЙ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ НА НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЬ ОБЩЕГО КОЭФФИЦИЕНТА ГИДРОСОПРОТИВЛЕНИЯ

Ю.С. Юрьев*, Ю.Д. Левченко*, И.А. Чусов, А.А. Казанцев***, И.Н. Леонов*****

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

** Обнинский государственный технический университет атомной энергетики, г. Обнинск

*** ЭНИМЦ «Моделирующие системы», г. Обнинск



Рассмотрена гидравлическая схема модели корпусного реактора с двумя параллельными потоками жидкости и с отклонениями геометрии тракта. Получены соотношения для оценки возможного разброса суммарного коэффициента гидросопротивления модели в зависимости от степени различия коэффициентов сопротивления частей модели, питающихся различными петлями.

ВВЕДЕНИЕ

Гидравлическое моделирование проточной части корпусной реакторной установки представляет собой одну из наиболее сложных в техническом плане задач, которая в большинстве случаев сводится к определению величины суммарного коэффициента сопротивления гидромодели. Полученные в ходе проведения испытаний опытные данные, как правило, не «ложатся» плавно на одну кривую, а образуют «облако» точек в окрестности некоторого среднего значения. Величина разброса обусловлена не только погрешностью измерений и обработки данных эксперимента, но и случайными отклонениями геометрии тракта петель.

Ниже в рамках гидравлического подхода делается попытка объяснения величины разброса опытных данных за счет отклонений геометрии трактов двухпетлевой гидромодели реакторной установки. На рис. 1 показана рассматриваемая схема корпусного реактора с двумя параллельными потоками жидкости: правая часть тракта реактора, питающаяся правой петлей, имеет параметры с индексом 1 ($G_1, \zeta_1, A_1, F_1, d_{T1}$), а левая – с индексом 2.

Интерес представляет случай, когда расходы по правой и левой петлям не равны между собой, т.е. $G_1 \neq G_2$.

УРАВНЕНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ

Примем двухчленную форму для коэффициента гидравлического сопротивления [1, 2] для первого из потоков

$$\Delta p_1 = \left(\zeta_1 + \frac{A_1}{Re_1} \right) \frac{\rho W_1^2}{2}. \quad (1)$$

Вся совокупность различных составляющих гидравлических потерь представлена коэффициентом потерь в квадратичной области сопротивления ζ_1 и коэффициентом потерь в области вязкого течения A/Re_1 ; $Re_1 = \rho w_1 d_{\Gamma 1} / \mu$. С учетом проходного сечения F_1 , получим для расхода G_1

$$\Delta p_1 = \frac{\zeta_1}{2\rho F_1^2} G_1^2 + \frac{A_1 \mu}{2\rho d_{\Gamma 1} F_1} G_1. \quad (2)$$

Первое слагаемое в этом выражении – квадратичное сопротивление, второе – линейное, соответствующее вязкому трению. Аналогично для второго из параллельных потоков

$$\Delta p_2 = \frac{\zeta_2}{2\rho F_2^2} G_2^2 + \frac{A_2 \mu}{2\rho d_{\Gamma 2} F_2} G_2. \quad (3)$$

Как видно, потоки реализуются в параллельных каналах с разными геометрическими характеристиками: $\zeta_1 \neq \zeta_2$ – коэффициенты местных потерь; $F_1 \neq F_2$ – проходные сечения; $d_{\Gamma 1} \neq d_{\Gamma 2}$ – гидравлические диаметры; $A_1 \neq A_2$ – параметр Пуазейля – ($A_1 = 64$ – для трубы; $A_1 = 96$ – для плоского канала и т.д.).

В зависимости от разности величин этих параметров различаются G_1 и G_2 , которые определяем из условия

$$\Delta p_1 = \Delta p_2, \quad (4)$$

$$\frac{\zeta_1}{2\rho F_1^2} G_1^2 + \frac{A_1 \mu}{2\rho d_{\Gamma 1} F_1} G_1 = \frac{\zeta_2}{2\rho F_2^2} G_2^2 + \frac{A_2 \mu}{2\rho d_{\Gamma 2} F_2} G_2. \quad (5)$$

Второе уравнение – баланс массовых расходов

$$G_1 + G_2 = G. \quad (6)$$

Исходный суммарный коэффициент гидравлического сопротивления всего аппарата ζ_Σ есть

$$\Delta p_1 = \Delta p_2 = \zeta_\Sigma \frac{1}{2\rho} \left(\frac{G}{2F_0} \right)^2, \quad (7)$$

$$\zeta_\Sigma = \Delta p_1 2\rho \left(\frac{2F_0}{G} \right)^2, \quad (8)$$

где F_0 – сечение патрубка (см. рис. 1).

РЕШЕНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ ЗАДАЧИ

Вводя относительные величины

$$g_1 = \frac{2G_1}{G}; \quad g_2 = \frac{2G_2}{G}, \quad (9)$$

получим систему

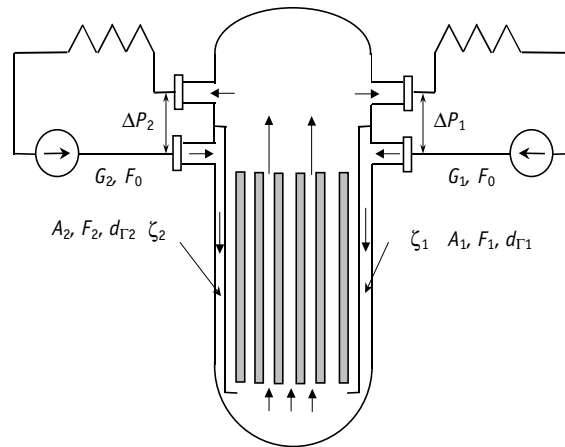


Рис. 1. Расчетная гидравлическая схема модели: индекс 1 — правая петля и правая часть корпуса модели; индекс 2 — левая петля и левая часть корпуса модели

$$\begin{cases} g_1 + g_2 = 2 \\ a_1 g_1^2 + b_1 g_1 = a_2 g_2^2 + b_2 g_2. \end{cases} \quad (10)$$

Она легко решается, однако выражения громоздки и неудобны для анализа. Поэтому, применяя линеаризацию в виде

$$G_1 = 1 + \Delta G, \quad G_2 = 1 - \Delta G, \quad (11)$$

получим

$$\zeta_{\Sigma} = \zeta_1 \frac{F_0^2}{F_1^2} \left[1 + 2 \frac{(a_2 - a_1) + (b_2 - b_1)}{2a_1 + 2a_2 + b_1 + b_2} \right] + \frac{A_1 d_0 F_0}{\text{Re}_0 d_{\Gamma 1} F_1} \left[1 + \frac{(a_2 - a_1) + (b_2 - b_1)}{2a_1 + 2a_2 + b_1 + b_2} \right], \quad (12)$$

где

$$\text{Re}_0 = \frac{w_0 \rho d_0}{\mu} = \left(\frac{G}{2F_0} \right) \frac{d_0}{\mu} \quad (13)$$

— число Рейнольдса для патрубка.

После алгебраических преобразований окончательное выражение примет вид

$$\frac{\zeta_{\Sigma} F_1^2}{\zeta_1 F_0^2} = 1 + \frac{1}{\text{Re}_*} + \frac{1}{2} \left[\frac{\zeta_2 - \zeta_1}{\zeta_1} - \left(2 + \frac{1}{\text{Re}_*} \right) \frac{F_2 - F_1}{F_1} + \frac{A_2 - A_1}{A_1 \text{Re}_*} - \frac{d_{\Gamma 2} - d_{\Gamma 1}}{d_{\Gamma 1} \text{Re}_*} \right], \quad (14)$$

где Re_* — приведенное число Рейнольдса

$$\text{Re}_* = \text{Re}_0 \frac{2d_{\Gamma 1} F_0 \zeta_1}{d_0 F_1 A_1}. \quad (15)$$

АНАЛИЗ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ

При отсутствии различий в геометрии параллельных потоков $\zeta_1 = \zeta_2$; $F_1 = F_2$; $d_{\Gamma 1} = d_{\Gamma 2}$; $A_1 = A_2$ получаем (рис. 2)

$$\frac{\zeta_{\Sigma} F_1^2}{\zeta_1 F_0^2} = 1 + \frac{1}{\text{Re}_*}. \quad (16)$$

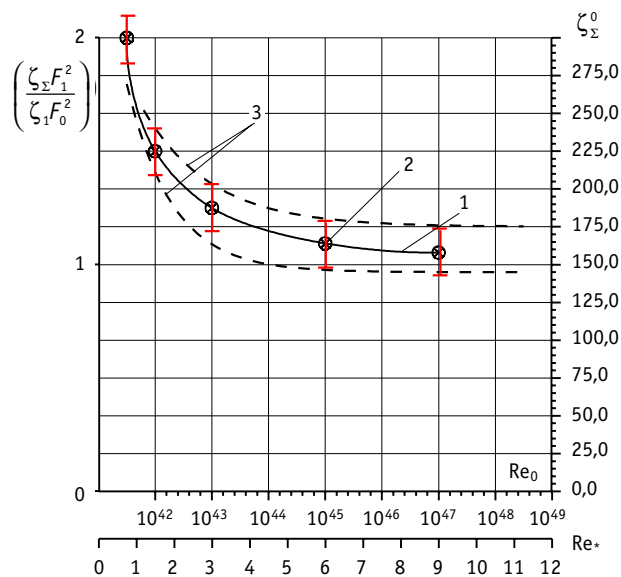


Рис. 2. Зависимость общего коэффициента гидросопротивления от чисел Рейнольдса: 1 – $\zeta_\Sigma^0 = \zeta_\Sigma^0(Re_0)$ – традиционное представление зависимости для идеального случая без отклонения (индекс 0); 2 – зависимость в обобщенных координатах; 3 – возможный диапазон разброса ζ_Σ при отклонении всех параметров на $\pm 10\%$

При $Re_* \rightarrow \infty$ имеем

$$\frac{\zeta_\Sigma F_1^2}{\zeta_1 F_0^2} \rightarrow 1, \quad (17)$$

относительный суммарный коэффициент гидравлического сопротивления всего аппарата в области автомодельности по числу Рейнольдса Re_0 .

Физический смысл числа Re_* состоит в том, что при $Re_* = 1$ (малые числа $Re_0 = 0,5 \cdot 10^4$) вдвое увеличивается коэффициент сопротивления ζ_Σ , а именно

$$\left. \frac{\zeta_\Sigma F_1^2}{\zeta_1 F_0^2} \right|_{Re_*=1} = 2. \quad (18)$$

Поэтому можно представлять результаты в традиционном (в наших обозначениях как Re_0) и обобщенном виде, с приведенным числом Рейнольдса Re_* .

На совмещенном рис. 2 эта зависимость обозначена значком \otimes .

Проиллюстрируем величину эффекта. Пусть для примера

$$\frac{\zeta_2 - \zeta_1}{\zeta_1} = 0,1, \quad \frac{F_2 - F_1}{F_1} = -0,1, \quad \frac{A_2 - A_1}{A_1} = 0,1, \quad \frac{d_{r2} - d_{r1}}{d_{r1}} = -0,1.$$

Тогда

$$\left(\frac{\zeta_\Sigma F_1^2}{\zeta_1 F_0^2} \right)^{MAX} = \left(1 + \frac{1}{Re_*} \right) * 1,15.$$

Это означает, что при отклонениях всех параметров в одну сторону на 10% суммарный коэффициент сопротивления изменится на 15% (пунктир на рис. 2). При суммировании слагаемых как независимых случайных величин эффект снижается в ~2 раза.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При наличии внутри корпуса аппарата параллельных потоков их величина может согласованно изменяться вследствие несимметрии геометрии петель тракта и отклонений коэффициентов потерь внутри корпуса модели. При этом изменяется в ту или другую сторону суммарный коэффициент гидравлического сопротивления аппарата. Полученные формулы служат для приближенной количественной оценки этого эффекта. Расчеты показали, что сильное увеличение разброса происходит при малых числах Рейнольдса, когда реализуются линейные слагаемые потерь на трение. При росте чисел Рейнольдса разброс снижается.

Литература

1. *Идельчик И.Е.* Справочник по гидравлическим сопротивлениям. – М.: Машиностроение, 1975.
2. *Идельчик И.Е.* Аэродинамика промышленных аппаратов. – М.: Машиностроение, 1983.
3. *Кириллов П.Л., Юрьев Ю.С., Бобков В.П.* Справочник по теплогидравлическим расчетам (ядерные реакторы, теплообменники, парогенераторы). – М.: Энергоатомиздат, 1990. – С. 358.
4. *Лятхер В.М., Прудовский А.М.* Гидравлическое моделирование. – М.: Энергоатомиздат, 1984.

Поступила в редакцию 15.03.2005

УДК 539.173.12

Experimental Cross-Sections of ^{238}U Fission Induced by Intermediate Energy Protons \A.Yu. Doroshenko, V.V. Ketlerov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of High Schools. Nuclear Power Engineering). – Obninsk, 2005. – 12 pages, 2 illustrations, 1 table. – References, 42 titles.

It was made the review of experiments on determining cross-section of ^{238}U fission induced by protons with energies from 200 to 1000 MeV. Experimental methods used in measurements were analyzed. Estimation of fragment fission registration effectiveness was provided on basis of the experiments description and with the help of newer solid track detectors characteristics measurements. As a result of conducted analysis of the effectiveness, we have corrected cross-section of the ^{238}U fission induced by protons in the energy region of interest.

УДК 621.039.56

Numerical Modeling of Coolant Mixing with REMIX Code \V.I. Melikhov, O.I. Melikhov, A.V. Petrosyan, S.E. Yakush; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of High Schools. Nuclear Power Engineering). – Obninsk, 2005. – 13 pages, 7 illustrations. – References, 21 titles.

REMIX (REactor MIXing) code for numerical analysis of coolant mixing is developed in Electrogorsk Research and Engineering Centre on NPP Safety. In this paper the mathematical model and numerical scheme of REMIX code is described. REMIX code is verified on two test problems: laminar/turbulent pipe flow, and flow behind a backward-facing step. The REMIX code is applied to calculation of boron mixing in VVER-1000 NPP reactor after start of main coolant pump. The calculations show that the decrease in the average boron concentration at the core inlet reached 31%, while local concentrations dropped by 38%.

УДК 621.039.524

Physical Statutes of Reactor VVER-1000 Analyze and Management of Emergency Situations \A.N. Shkarovskii, V.I. Aksekov, N.P. Serdun'; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of High Schools. Nuclear Power Engineering). – Obninsk, 2005. – 9 pages, 4 illustrations. – References, 8 titles.

Physical categories of nuclear power installation (NPI) determined by physical process which pass in elements of it equipment are suggested and founded. It is shown that combination (configuration) of physical categories determines physical conditions of NPI. Methodic for analysis of physical categories for determination of physical conditions is given. Analysis of different physical conditions of NPI is conducted, methodic of decision acceptance by operator on management of emergency situation (in support of safety system) with the purpose of consistent conversion to the final (safety) condition is developed.

УДК 621.039.526: 621.039.546.8

Experimental Research of Hydraulic Parameters of Modified Fuel Assembly for RBMK-1000 Reactor \E.F. Avdeev, I.A. Chusov, V.A. Levchenko; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of High Schools. Nuclear Power Engineering). – Obninsk, 2005. – 12 pages, 11 illustrations, 1 table. – References, 5 titles.

Main results of experimental research on hydraulic parameters of the RBMK-1000 modified fuel assembly are presented. Data on full friction for TC with fuel assembly and local friction of the inlet and outlet of fuel assembly taking into account TC diameter change are given. Influence of change in dissector longitudinal direction relative to rod bundle on the hydraulic parameters of inlet, outlet, and of the bundle at whole has been investigated. Results of local friction measurements for the single grid spacer of the typical fuel assembly are also given.

УДК 621.039.526

Influence of Track Geometry Deviation in Two-Loop Hydraulic Model on Total Hydraulic Friction Uncertainties \Yu.S. Yur'ev, Yu.D. Levchenko, I.A. Chusov, A.A. Kazantsev, I.N. Leonov; Editorial board of

journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of High Schools. Nuclear Power Engineering). – Obninsk, 2005. – 5 pages, 2 illustrations. – References, 4 titles.

Experimental research of hydraulic parameters of the container reactor model on facility MR is presented. Hydraulic model of a two-loop container-type reactor is described. Experimental data are given in a wide range of facility parameters including loss-of flow accidents when one of circulation pumps stops completely.

УДК 621.039.54

The Forming of the Functional Layer on the Nuclear Fuel Element Surface by the Pulsed Charged Particles Beam Action \V.I. Boiko, B.E. Kadlubovich, I.V. Lomov, V.N. Nesterov, I.V. Shamanin; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of High Schools. Nuclear Power Engineering). – Obninsk, 2005. – 7 pages, 4 illustrations. – References, 13 titles.

The possibility of use of the pulsed charged particles beam for development of technology of functional layers sputtering and functional (protectional) layer forming on the nuclear fuel element surface is examined. This technology is considered as alternative for the technology of the layers forming by means of «pseudo-liquefied layer» method. The results of experiments that show the capacity for work of the proposed idea are presented.

УДК 621.039.532.21

Evaluation of the Reactor's Graphite Resource of Cells of the Operation and Protection System with the Degradation of the Thermo-physical Properties Taking into account \V.I. Boiko, V.V. Shidlovskiy, P.M. Gavrilov, V.N. Nesterov, I.V. Shamanin, A.V. Ratman; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of High Schools. Nuclear Power Engineering). – Obninsk, 2005. – 10 pages, 10 illustrations, 1 table. – References, 9 titles.

The evaluation of the realistic distributions of the graphite resource of the tube water-cooling reactors with the graphite moderator is carried out. The changes of the heat-exchange and heat-transfer conditions that are caused by thermo-physical properties degradation and by the form changes of the construction's elements are taken into account. Peculiarities that are stipulated by the spectrum of the neutrons flows differences and by the differences of parameters of the gamma-ray in the fuel channels and in the operation and protection system channels are taken in account.

УДК 621.039.534

Method and Device for Indication of the State of Passivation Films on the Surface of Structural Materials in Heathy Liquid Metal Coolants \P.N. Martynov, M.E. Chernov, V.A. Gulevskiy, U.A. Teplykov, A.A. Provorov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of High Schools. Nuclear Power Engineering). – Obninsk, 2005. – 8 pages, 5 illustrations. – References, 7 titles.

Protection of the structural materials of NPP primary circuits against the corrosive attack of lead or lead-bismuth coolants is implemented by building up on their surfaces of an oxide bed based on steel components, primarily iron and chromium. The oxide bed hinders the interpenetration of steel components and coolant and thereby essentially reduces the rate of their interaction. At present various methods of building up protective coatings on structural steels are used: first, steel passivation in oxygen-bearing gas atmosphere (steam-hydrogen mixture, air, carbonyl and carbon dioxide mixture and others); second, ex-vessel passivation in lead or lead-bismuth where the oxygen content is at the level of saturation; and, finally, circuit passivation being implemented in the initial stage of NPP operation by injection into coolant of dissolved oxygen. In the course of NPP operation, the quality of the protective films is maintained by adjusting the concentration of oxygen dissolved in coolant within the specified limits.