

УДК 621.039.5

ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ МАЛЫХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ИСКАЖЕНИЙ ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ ГИДРОМОДЕЛИ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РАСХОДОВ В РАБОЧИХ КАНАЛАХ КОРПУСНОГО РЕАКТОРА

И.А. Чусов*, В.А. Саркисов* А.П. Лубенский*, Ю.С. Юрьев,
Д.В. Зайцев*****

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

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

****ФГУП ОКБ «Гидропресс», г. Подольск*



Приводятся результаты численного анализа стационарного распределения расходов по имитаторам рабочих каналов гидравлической модели корпусного реактора. Расчеты проведены для случая отклонения оси активной зоны от оси корпуса модели реакторной установки. Рассмотрены варианты отклонения до 1-го градуса включительно. Показано, что при небольших углах наклона появляется значительное перераспределение расходов в имитаторах каналов. Предложена гипотеза о возможных причинах перемещения вихрей в нижнем раздаточном коллекторе.

ВВЕДЕНИЕ

Основной целью настоящей работы являлось определение неравномерности распределения расходов в гидродинамической модели реактора (ГДМ) при малом повороте активной зоны (а.з.) относительно оси корпуса. Проведение таких расчетов вызвано необходимостью оценки эффектов разброса расходов по каналам а.з. при неточности юстировки отдельных элементов.

Отметим, что не только ошибки в юстировке могут быть причинами появления дополнительной неравномерности распределения жидкости по имитаторам рабочих каналов такого типа. В соответствии с системой допусков и посадок, принятой в России, при изготовлении крупногабаритных изделий погрешность изготовления может достигать сравнительно больших величин, влияющих на гидродинамику реактора [1]. И даже правильная сборка, выполненная с соблюдением всех регламентов, не может гарантировать от возникновения малых перекосов отдельных элементов. Поэтому расчеты проводились для углов разбалансировки а.з. и корпуса 0, 15, 30, 45 и 60 мин.

Работа является продолжением расчетно-экспериментального обоснования влияния различных факторов на неравномерность распределения расходов в ка-

налах реакторных установок [2, 3] и выполнена на основе материалов дипломных работ, расчеты в которых проведены с помощью программного кода CFX 10.0.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Объектом исследования являлась расчетная область, описывающая ГДМ реакторной установки корпусного типа с двухпетлевой компоновкой [4]. Ось симметрии а.з. и ось корпуса ГДМ образуют малый угол разбалансировки (рис. 1). Расходы одинаковы по обеим петлям и равны $141 \text{ м}^3/\text{ч}$, температура жидкости равна $\approx 58^\circ\text{C}$.

Из рис. 1 следует, что разбалансировка приводит

1) к значительному изменению геометрии опускной проточной части; узкий кольцевой зазор, образованный внутренней стенкой обечайки ГДМ и внешней стенкой обечайки а.з., становится несимметричным, что является причиной изменения силы сопротивления трения и давления, и в конечном итоге приведет к изменению распределения расходов;

2) нижний раздаточный коллектор приобретает форму клина, что указывает на необходимость проведения расчета коллектора не только как канала с изменяющимся расходом, но и с изменяющейся площадью проходного сечения.

Математическая формулировка задачи, задание граничных и начальных условий, гипотеза замыкания, методика решения приведены в работе [3].

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА

Исходные данные, при которых проводился расчет, приведены в работе [3], там же приведена информация по результатам расчета нормального режима эксплуатации ГДМ РУ.

На рис. 2 показана картина течения жидкости в кольцевом зазоре: из рис. 2а видно, что даже малая разбалансировка осей приводит к асимметрии в распределении скорости. Поток от более «зажатого» патрубка (правого) передавливает поток от менее «зажатого», смещая точку столкновения потоков в левую сторону относительно оси ГДМ. Асимметрия распределения расходов в кольцевом опускном канале приводит к образованию смещенной парной вихревой структуры с перестройкой распределения давления в нижнем раздаточном коллекторе (см. рис. 3а). Совместное рассмотрение рис. 2а и 3а позволяет сделать следующие выводы:

- зона вторичного течения (под менее «зажатым» напорным патрубком) сужается;
- в нижнем раздаточном коллекторе образуется парная вихревая структура;
- точка столкновения двух встречных потоков находится на $\approx 120^\circ$.

В межвихревом пространстве скорость потока достигает $\approx 3,4 \text{ м/с}$, в то время как в основной части раздаточного коллектора жидкость движется со средней скоростью $\approx 1,5 \text{ м/с}$.

Распределение скоростей жидкости при увеличении угла разбалансировки до $0,5^\circ$ (30 мин.) показано на рис. 2б и 3б. Более полное перекрытие проходного сечения (при постоянстве расхода) в правой части ГДМ приводит к значительному возрастанию скорости жидкости. Именно это обстоятельство и приводит к еще большему «передавливанию» расхода правым насосом. Интенсивность образующейся в нижнем раздаточном коллекторе парной вихревой структуры растет, а сам парный вихрь становится более симметричным, наибольшей интенсивности он достигает на расстоянии $\approx 30 \text{ мм}$ от дна ГДМ. Точка столкновения потоков смещается в левую сторону и располагается на $\approx 150^\circ$ по обечайке а.з.

На рис. 2в, 3в показано распределение скорости воды в нижнем раздаточном коллекторе и опускном канале при разбалансировке осей $0,75^\circ$ (45 мин.). Из них

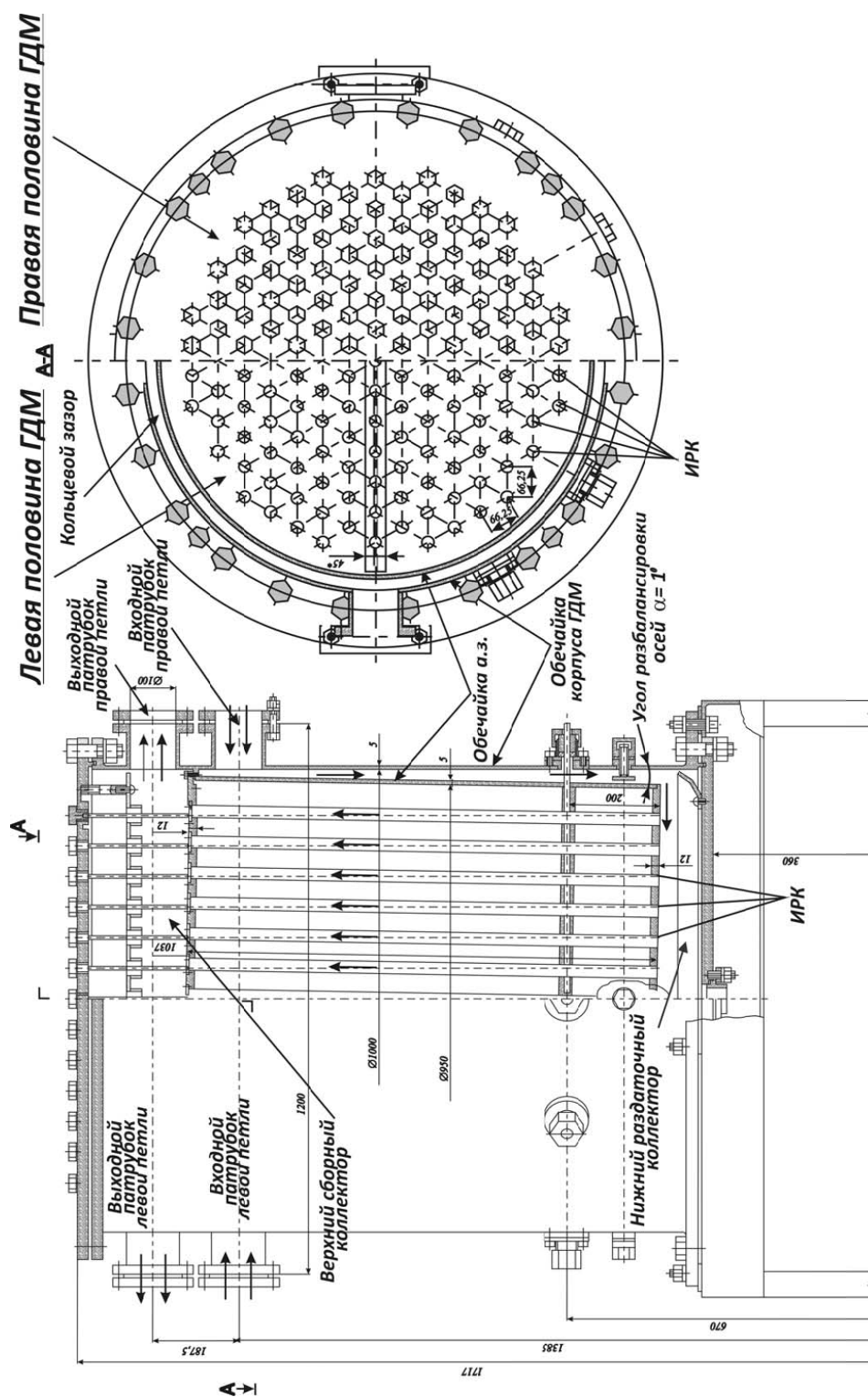


Рис. 1. Схема течения и конструкция ГДМ: показано смещение оси ВКУ относительно оси ГДМ

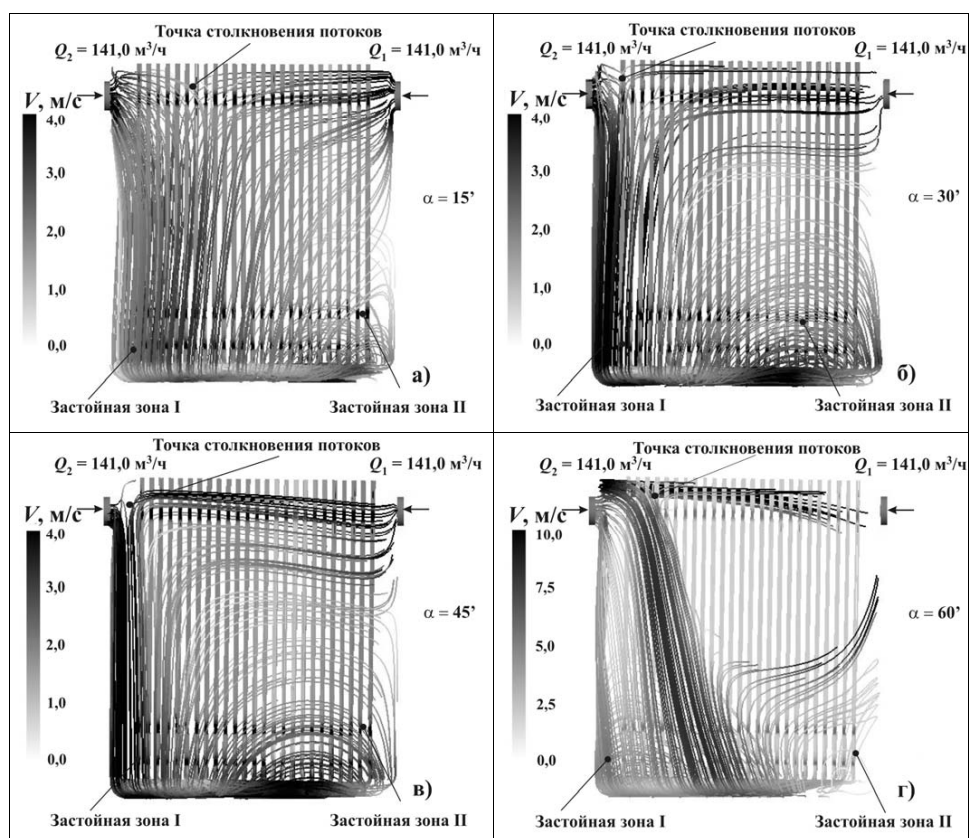


Рис. 2. Картина течения в кольцевом зазоре: а) разбалансировка осей 15 мин; б) 30 мин; в) 45 мин; г) 60 мин

видно, что дальнейшее увеличение угла разбалансировки приводит к еще большему смещению точки столкновения потоков в левую сторону. Угол встречи потоков становится равным $\approx 170^\circ$. Вихревая пара, образующаяся в нижнем коллекторе, захватывает большее количество ИРК и смещается в центральную область, что в свою очередь приводит к увеличению размеров застойной зоны в области более «зажатого коллектора».

Общая картина течения принципиально изменяется при разбалансировке осей на 1° (60 мин.). На рис. 2г, 3г показано распределение скоростей в опускном кольцевом канале и нижнем раздаточном коллекторе. Струя жидкости из более «зажатого» патрубка расслаивается на две составляющие. Нижняя струя движется практически вертикально вниз, начиная горизонтальное движение вдоль обечайки а.з. в нижней части модели реакторной установки; верхняя часть струи движется в горизонтальном направлении вдоль обечайки корпуса ВКУ. При этом отсутствует равенство расходов по правой и левой половинам модели со стороны «зажатого» и «свободного» патрубков.

Пограничный слой от более «зажатого» патрубка двигаясь в горизонтальном направлении, вдоль слабо искривленной поверхности ГДМ, встречается со струйным потоком от более «свободного» патрубка. В точке их встречи происходит отрыв «зажатого» пограничного слоя от поверхности а.з. и смешанный от двух патрубков поток начинает опускное движение к нижнему раздаточному коллектору. Оторвавшийся поток, закручиваясь на внешней огибающей а.з., устремляется вниз.

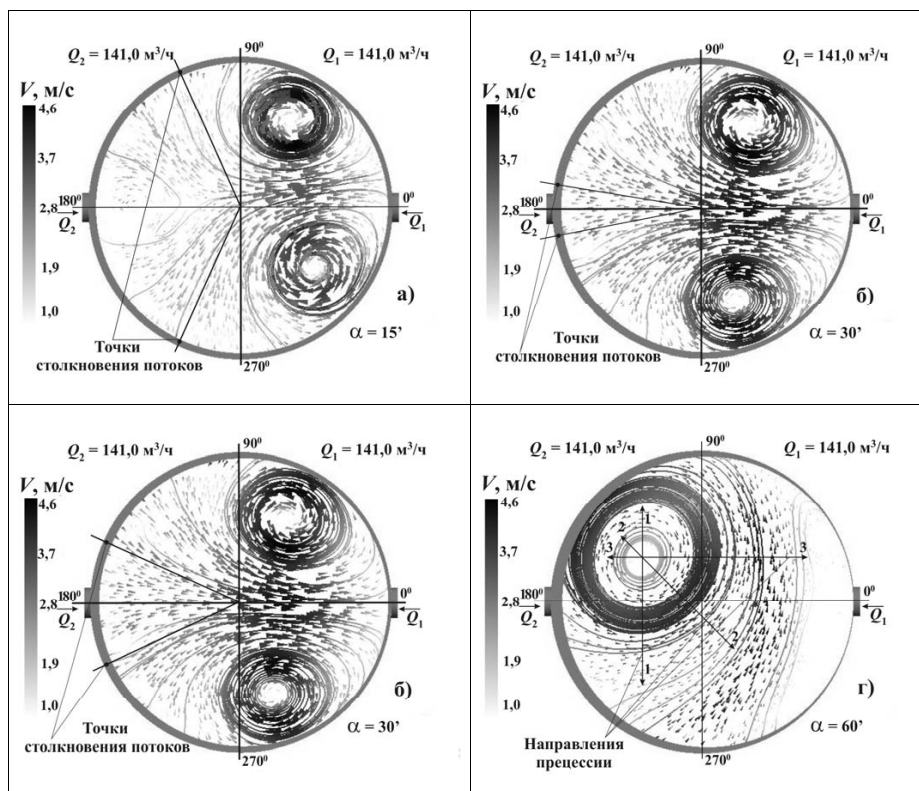


Рис. 3. Парные вихревые области в нижнем раздаточном коллекторе: а) разбалансировка осей 15 мин; б) 30 мин; в) 45 мин; г) 60 мин

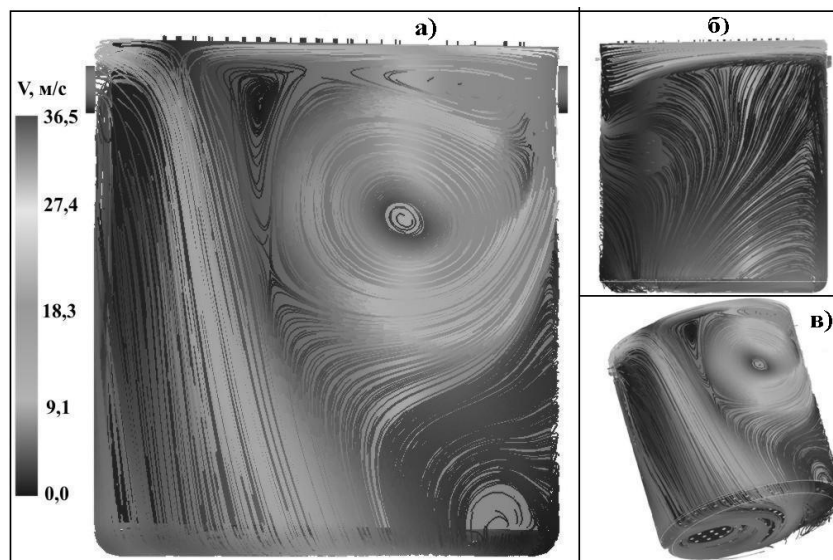


Рис. 4. Картина течения в: а) опусном кольцевом зазоре, поворот 0°; б) опусном кольцевом зазоре, поворот 180°; в) изометрии

Несимметричность распределения потоков со стороны «зажатого» патрубка в верхней части ГДМ может быть объяснена физической природой турбулентного движения, нарушающего симметрию при силовом возмущении (течение в диффузоре; столкновение струй и т.п.).

На противоположной стороне ГДМ картина течения другая. Струя жидкости из более «затесненного» патрубка распространяется практически до «свободного» патрубка, но образования вихря в зазоре нет. Все упомянутые вихревые структуры видны на рис. 4в.

Можно предположить, что образовавшийся в нижнем коллекторе вихрь совершает движение по всему объему коллектора. Вполне возможно, что образовавшаяся вихревая структура – это прецессирующее вихревое ядро, совершающее движение в одной из плоскостей 1. Ответы на эти вопросы может дать только экспериментальное исследование с непосредственным измерением расходов в ИРК и



нижнем раздаточном коллекторе при разбалансировке осей симметрии на ГДМ. Еще одним важным вопросом является выработка рекомендаций для конструкторов реакторных установок [5–11].

На рис. 5 приведена картограмма распределения относительных расходов при разбалансировке осей 60 мин. Картограмма хорошо иллюстрирует появление вихревой структуры в левой части раздаточного коллектора, которое приводит к неравномерности в распределении расходов, значение которого равно $\approx 70\%$.

Подчеркнем, что все численные значения относятся только к использованной расчетной схеме ГДМ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные расчеты показали, что в случае разбалансировки осей корпуса ГДМ и а.з. картина течения жидкости становится значительно сложнее, чем в случае снижения подачи жидкости по одной из петель [3]. Следует различать «большую» и «малую» разбалансировки. Предлагается, для случая двух, четырех и более вихрей считать разбалансировку «малой», а в случае образования единичной вихревой структуры – «большой». Во всех случаях следует учитывать, что разбалансировка приводит к заметному перераспределению расходов жидкости в ИРК ГДМ.

Следующим этапом расчетной работы является учет действия выходного коллектора, а всей работы в целом – комплексное расчетное и экспериментальное изучение гидродинамики в проточных частях действующих и вновь проектируемых реакторов.

Литература

1. Юрьев Ю.С., Левченко Ю.Д., Чусов И.А., Казанцев А.А., Леонов И.Н. Влияние отклонений геометрии тракта двухпетлевой гидравлической модели на неопределенность общего коэффициента гидросопротивления // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2005. – №3. – С. 81–86.
2. Авдеев Е.Ф., Чусов И.А., Левченко В.А., Левченко Ю.Д., Юрьев Ю.С. Экспериментальное исследование гидравлического сопротивления модели корпусного реактора // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2005. – №4. – С. 77–85.
3. Чусов И.А., Саркисов В.А., Юрьев Ю.С., Зайцев Д.В. Численное моделирование распределения скорости и давления воды в проточной части модели реактора // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2008. – №4.
4. Авдеев Е.Ф., Чусов И.А., Устюжанин А.Я., Максимовский В.В., Лазикиан Д.С., Левченко В.А., Бородастов С.В., Леонов И.Н., Белугин В.А., Левченко Ю.Д., Юрьев Ю.С. Гидравлический стенд для испытаний моделей ядерных реакторов // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2004. – №4. – С. 70–83.
5. Кириллов П.Л., Юрьев Ю.С. Гидродинамические расчеты. – Обнинск: ГНЦ РФ-ФЭИ, 2007.
6. Идельчик И.Е. Аэродинамика промышленных аппаратов. – М.: Машиностроение, 1983. – 520 с.
7. Решетов В.А., Смирнов В.П., Пикулева Т.А. Гидравлика кругового раздаточного коллектора // ВАНТ. Сер.: Реакторостроение. – 1976. – Вып. 13. – С. 65–74.
8. Быстров П.И., Михайлов В.С. Гидродинамика теплообменных аппаратов. – М.: Энергоатомиздат, 1982.
9. Фомичев М.С. Экспериментальная гидродинамика ЯЭУ. – М.: Энергоатомиздат, 1989.
10. Гусев Б.Р., Калинин Р.И., Благовещенский А.Я. Гидродинамические аспекты надежности энергетических установок. – Л.: Энергоатомиздат, 1989.
11. Кириллов П.Л., Юрьев Ю.С., Бобков В.П. Справочник по теплогидравлическим расчетам (ядерные реакторы, теплообменники, парогенераторы). – М.: Энергоатомиздат, 1990. – С. 358.

Поступила в редакцию 06.06.2008

УДК 621.039.5

Numerical Analysis of Influence Minor Geometrical Distortions of Flow-Through Part of the Hydraulic Model on Flowrates Distribution in Vessel-Type Reactor Working Channels \ I.A. Chusov, V.A. Sarkisov, A.P. Loobenskiy, Yu.S. Yuryev, D.V. Zaytsev; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnich zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of High Schools. Nuclear Power Engineering). – Obninsk, 2008. – 70 pages, 5 illustrations. – References, 11 titles.

The results of the numerical analysis of the stationary distribution of flowrates via the simulators of the working channels of the vessel-type reactor hydraulic model are provided. The analyses have been performed for the case of the core axis deviation from the axis of the reactor plant model vessel. The variants of the deviation to the 1st degree inclusively are provided. It was shown that the significant re-distribution of flowrates takes place in the channels simulators at minor declination angles. The hypothesis on the probable reasons of the eddy motion in the lower distribution header has been proposed.

УДК 621.039.5+519.85

Direct Taking into account the Initial Data Uncertainty during Monte Carlo Calculations \ P.A. Androsenko, K.M. Kolganov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnich zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of High Schools. Nuclear Power Engineering). – Obninsk, 2008. – 11 pages, 6 illustrations, 3 tables. – References, 6 titles.

The new method of taking into account the initial data uncertainty during Monte Carlo calculations is described. Distribution laws of initial data uncertainty are supposed to be specified and random values of initial parameters are simulated directly during Monte Carlo calculation. Possibilities of the suggested method are demonstrated by using model examples of integral calculations with nondistinct specified parameters. The problem is aimed at studying the uncertainty budget associated with the air kerma delivered by a simplified calibration beam which could be used for radiotherapy and radiation protection. This problem was suggested as an international test in the framework «Uncertainty Assessment in Computational Dosimetry – CONRAD» (A COrdinated Network for RAdiation Dosimetry) for independent comparison of calculations which were to be made by various codes.

УДК 519.28+621.039

Neural Network Experiments on Cross Influence of Alloying Elements on Mechanical Properties of 12 % Cr Ferritic-Martensitic Steels \ S.M. Obratsov, G.A. Birzhevoy, Yu. V. Konobeev, V.I. Rachkov, V.A. Solovyev; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnich zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of High Schools. Nuclear Power Engineering). – Obninsk, 2008. – 6 pages, 5 illustrations, 1 table. – References, 7 titles.

A perspective strategy of development of ferritic-martensitic (F-M) steel with the high temperature strength for BN-800 reactor might be application of methods of the artificial intellect. In the present work results of computer experiments carried out using a neural network model are presented. In particular, calculations have shown, that an increase of manganese content together with the coordinated reduction of molybdenum and niobium contents may result in an increase of high temperature strength of F-M steels.