MNDDOG OSTDSMEO BOHGSAR 🛞

УДК 519.688:621.039.572

ПРОГРАММА FACT98 ДЛЯ ТРЕХМЕРНЫХ НЕЙТРОННОТЕПЛОГИДРАВЛИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ КИПЯЩЕГО РЕАКТОРА ВК-300

С.В. Баринов, В.В. Васильев, В.К. Викулов, В.К. Давыдов, А.П. Жирнов, Ю.И. Митяев, А.В. Радкевич, М.И. Рождественский никиэт. г. Москва



Программа FACT98 позволяет рассчитывать стационарные состояния реактора, выгорание топлива с учетом перегрузки и перестановки ТВС, распределения мощности и алгоритм перемещения органов СУЗ, эффектов и коэффициентов реактивности и т.п. В дальнейшем планируется ввести в программу расчет переходных процессов на основе пространственной нейтронной кинетики и теплогидродинамики.

Характерной особенностью корпусных кипящих реакторов, к которым относится проектируемый в НИКИЭТ реактор ВК-300, является значительная высотная неоднородность нейтронно-физических свойств активной зоны, сложность описания теплогидравлических процессов и наличие существенных обратных связей между нейтронными и теплогидравлическими параметрами. Это предъявляет повышенные требования к программам и методикам расчета кипящих реакторов.

Для нейтронно-физического проектирования ВК-300 используются два типа расчетных кодов. К первому относятся программы детальных расчетов спектра нейтронов и подготовки библиотеки малогрупповых макросечений. Другой тип программ предназначен для пространственных расчетов реактора в малогрупповом диффузионном приближении. В них используются библиотеки макросечений, полученные с помощью программ первого типа.

В качестве рассматриваемого ниже рабочего кода второго типа для совместных нейтронно-теплогидравлических трехмерных расчетов применяется программа FACT98, разработанная в 1998 г. специально для реактора ВК-300.

В программе учитываются обратные связи по выгоранию топлива, отравлению Хе-135 и теплогидравлическим параметрам реактора, которые представлены в виде зависимостей от мощности ТВС и распределения энерговыделения по длине каждой сборки.

[©] С.В. Баринов, В.В. Васильев, В.К. Викулов, В.К. Давыдов, А.П. Жирнов, Ю.И. Митяев, А.В. Радкевич, М.И. Рождественский, 1999

^{*} Доклад на X Международной конференции Ядерного общества России (Обнинск, 28 июня-2 июля 1999 г.)

NNOOO OSTOSMO SOHISM 🐺

В основу нейтронных расчетов положено малогрупповое (от 2 до 4 групп) диффузионное приближение с учетом термализации нейтронов.

Трехмерная модель ВК-300 в программе представлена в виде правильной треугольной решетки шестигранных каналов с шагом, равным шагу размещения ТВС в реакторе. Возможен расчет различных элементов симметрии: 1/12, 1/6, 1/3 и 1/2. На плоскостях симметрии могут быть заданы граничные условия отражения и трансляции. По высоте реактор разбивается параллельными плоскостями на слои произвольной толщины. Пересечения слоев с каналами образуют геометрические зоны с индивидуальными нейтронными и теплогидравлических параметрами.

Узлы конечно-разностной расчетной сетки располагаются в центре каналов. По высоте в каждом расчетном слое допускается произвольное количество узлов.

Для решения трехмерного уравнения диффузии в программе могут использоваться два метода: конечно-разностный метод на грубой сетке и нодальный метод.

Первый метод отличается высоким быстродействием, абсолютной устойчивостью и надежностью. Однако его применение для решеток с большим шагом может приводить к заметным ошибкам в расчетах эффективного коэффициента размножения нейтронов и распределений мощности. Метод введен в программу для предварительных оценок, сравнения с другими однотипными программами и расчета сложных конфигураций реактора.

Второй метод, используемый в программе в качестве основного, разработан на основе хорошо зарекомендовавшего себя для реакторов РБМК (код SADCO) нодального метода с коррекцией токов нейтронов на границах каналов. Метод разработан в НИКИЭТ на базе алгоритма Аскью-Такеда. Отличительной особенностью метода является использование кроме одного центрального, еще и шести дополнительных узлов в каждом канале. Дополнительные узлы используются для корректировки токов нейтронов на границах каналов на основании одномерного уравнения баланса и в основном в расчете не участвуют. Периодически, через несколько внешних итераций, с их помощью проводится корректировка коэффициентов конечно-разностного уравнения, имеющего вид обычного уравнения с одним узлом на канал. Усовершенствования метода Аскью-Такеда, проведенные в НИКИЭТ, коснулись, прежде всего, подбора положения дополнительных узлов в канале и адаптации этого метода к трехмерным расчетам.

Таблица 1 Расчет коэффициента размножения нейтронов по программам MCNP и FACT98

	Программа		
Вариант			Расхождение δ,%
	MCNP	FACT98	
1	1.09847±0.00011	1.09575	-0.23
2	0.94358±0.00011	0.94214	-0.16
3	1.01035±0.00011	1.00829	-0.20
4	1.02963±0.00011	1.030447	+0.08

MNOOOG OSTOSMED BOHGSAR 🛞

Разработанный нодальный метод отличается повышенной точностью и сравним по точности с конечно-разностными методами, использующими мелкую сетку в каждом канале (6 и более узлов на канал).

В программе используются также эффективные алгоритмы решения сеточных уравнений большой размерности с помощью метода неполной факторизации и алгоритмы ускорения внешних итераций с помощью полиномов Чебышева.

Программа FACT98 может работать как с собственной библиотекой нейтронных макросечений, разработанной специально для реактора ВК-300, так и с макросечениями, вводимыми в качестве исходной информации. В библиотеке для реактора ВК-300 используются полиномиальные аппроксимации макросечений в зависимости от технологических и теплогидравлических параметров ячеек активной зоны. Она описывает все эксплуатационные состояния реактора.

Работы по тестированию и верификация программы должны включать как нейтронно-физические, так и теплогидравлические модели. Однако поскольку в ней пока используются приближенные теплогидравлические модели, было решено ограничиться лишь их тестированием и формальной проверкой работоспособности. Основное внимание уделялось тестированию и верификации завершенных и отлаженных физических моделей программы FACT98. Для этого были разработаны тестовые задачи, позволяющие проверить программу при наиболее сложных (по корректности расчета рас-

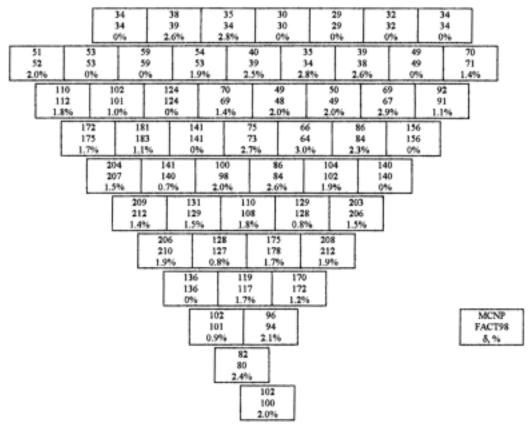


Рис.1. Мощности ТВС, рассчитанные по программам FACT98 и МСNР

MNDDO9 OSTDSMEO SOHISAR 🕸

пределений мощности) состояниях активной зоны ВК-300, которые были рассчитаны также по общепризнанной прецизионной программе MCNP (см. табл.1 и рис.1),

Рассчитаны 4 состояния ВК-300, отличающиеся глубиной погружения стержней СУЗ:

- все стержни полностью выведены из реактора (вар. 1);
- все стержни полностью введены в реактор (вар. 2);
- часть стержней полностью введена в реактор, а остальные стержни полностью выведены из него в состоянии, близком к критическому (вар. 3);
 - как и вариант 3, но все введенные стержни извлечены на 40 см (вар. 4).

Для программы MCNP была разработана детальная трехмерная потвэльная модель, полностью воспроизводящая конструкцию TBC. Для программы FACT98 разработана трехмерная модель с элементом вращательной симметрии 1/6. Макросечения активной зоны и отражателей для программы FACT98 рассчитывались по встроенной в программу библиотеке сечений для реактора BK-300.

Как следует из таблицы, значения коэффициента размножения нейтронов, рассчитанные по обеим программам, совпадают с точностью не хуже 0.23%.

При расчете распределений мощности по ТВС реактора нодальным методом расхождение с данными программы МСNР для всех вариантов не хуже 13%. Максимальное расхождение наблюдается во внешнем ряде ТВС, что вызвано, главным образом, небольшими значениями мощности этих ТВС. Для внутренних ТВС расхождение не превышает 4.7%. На рисунке приведено нормированное на 100 распределение мощностей ТВС для одного из тестовых вариантов.

По результатам многочисленных тестовых расчетов можно сделать вывод, что программа FACT98 рассчитывает эффективный коэффициент размножения нейтронов $K_{\text{эфф}}$ и пространственное распределение мощности в реакторе ВК-300 в широком спектре конфигураций активной зоны с достаточной для стадии технического проекта точностью.

Поступила в редакцию 28.05.99.

For the last years in Russia the specific change in the ILW and LLW management has been surfaced. It is resulted in the prospective processes, equipment and installations for waste conditioning as well as for original findings based on the fundamental science, engineering and technology achievements, including progress in radiation biology.

УДК 621.039.526

Evaluation and Comparison of Plutonium Potential Hazard \A.G. Aseev, S.A. Subbotin; Editorial board of journal "Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetica" (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) - Obninsk, 1999. - 9 pages, 1 table. - References, 7 titles.

An attempt to reevaluate plutonium as very toxic element was made in the article. Plutonium radiation hazard and plutonium properties dangerous for human being and the environment are considered. Estimation of its chemical toxicity also was suggested and it was compared with radiation plutonium toxicity. An estimation of real danger related to plutonium is represented in this article.

УДК 519.688:621.039.572

FACT98 Code for Three-Dimensional Neutronics and Thermal Hydraulics Calculations of Boiling VK-300 Reactor\ S.V. Barinov, V.V. Vasil'ev, V.K. Vikulov, V.K. Davidov, A.P. Zhirnov, Yu.I. Mityaev, A.V. Radkevich, M.I. Rozhdestvensky; Editorial board of journal "Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetica" (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) - Obninsk, 1999. - 4 pages, 1 illustration. - References, 1 titles.

FACT98 code permits to calculate stationary states of a reactor, burn-up of fuel subject to overload and transposition of fuel assemblies as well power distribution, control rods displacement, reactivity effects and coefficients etc. Later is planed to add into the program calculation of the transient process on the basis of a spatial neutron dynamics and thermal hydraulics.

УДК 621.039.526:621.039.534.6

Evaluation of effects of (γ,n) & (n,2n) reactions on criticality and kinetics of heavy-water reactor (γ,n) Yu.V. Volkov, T.G. Petrosov, M. Moniri; Editorial board of journal "Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetica" (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) - Obninsk, 1999. - 7 pages, 5 illustrations. - References, 4 titles.

The effect of photoneutron reactions on criticality and dynamic of a heavy water reactor has been evaluated. It has been shown that these reactions are not to be considered during neutron-physical calculations of a nuclear reactor having practically feasible dimensions. At the same time the effect of delayed photoneutron reactions on dynamics of a heavy water reactor is essential. The digital reactimeter for such reactor has been developed and tested in imitation experiment.

УДК 621.039.526

Numerical and Experimental Investigations of Stable Heat-Exchange Conditions with Liquid Metal Boiling under Fast Reactor Accident Heat Removal Regime \ A.P. Sorokin, A.D. Yefanov, Ye.F. Ivanov, D.Ye. Martsiniouk, G.P. Bogoslovskaya, K.S. Rymkevich, V.L. Malkov; Editorial board of journal "Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetica" (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) - Obninsk, 1999. - 11 pages, 8 illustrations. - References, 8 titles.

The description of test facility, sensors, measurement procedure and the experimental data on investigation of liquid metal coolant boiling in a model of fast reactor fuel subassembly under the accident heat removal conditions with small circulation rates are represented. The physics, performances and stability of various boiling regimes observed in experiments (nucleate, slug, disperse-annular) are analyzed. Experimental pattern map for liquid metal boiling was obtained. The description of a mathematical model of liquid metal boiling in the natural circulation circuit and results of test accounts for conditions with increasing of energy generation and with sharp reduction of pressure are represented.

УДК 621.039.544.35:621.039.526

Development of the Chemical Treatment Methods for Thorium Materials in a Uranium - Thorium Fuel Cycle \ B.Ya. Zilberman, L.V. Sytnik, B.Ya. Galkin, A.G. Gorsky, V.B. Pavlovich, E.Ya. Smetanin, F.P. Raskach; Editorial board of journal "Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetica" (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) - Obninsk, 1999. - 7 pages, 3 illustrations, 3 tables. - References, 3 titles.