

- топливному циклу (8-й семинар по проблемам физики реакторов 5—9 сент. 1993 г.). М., МИФИ, 1993, т. 1, с. 99—103.
18. Адамов Е.О., Васильевский В.П., Ионов А.И. и др. Анализ первой фазы развития аварийного процесса на четвертом блоке Чернобыльской АЭС. — Атомная энергия, 1988, т. 64, № 1, с. 24.
19. Абагян А.А., Аршавский И.М., Дмитриев В.М. и др. Расчетный анализ начальной стадии аварии на Чернобыльской АЭС. — Там же, 1991, т. 71, вып. 4, с. 275—287.
20. Хетрик Д. Динамика ядерных реакторов. М.: Атомиздат, 1975.
21. Askew J., Fayers F., Kemshell P. A general description of the lattice code WIMS. — J. Brit. Nucl. En. Soc., 1966, v. 5, p. 564—585.
22. Hancox W., Banerjee S. Numerical standarts for flow boiling analysis. — Nucl. Sci. Engng, 1977, v. 64, p. 106—123.
23. Бабайцев М.Н., Краюшкин А.В. Моделирование 1-й фазы аварии на Чернобыльской АЭС с помощью программы STEPAN. — В сб.: Расчетно-экспериментальное обеспечение исследований по безопасной ядерной энергетике и ее топливному циклу (8-й семинар по проблемам физики реакторов, 5—9 сент. 1993 г.). М., МИФИ, 1993, т. 1, с. 120—122.

Поступила в Редакцию 26.04.94

УДК 621.039.5

РАСЧЕТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АВАРИИ НА ЧЕТВЕРТОМ ЭНЕРГОБЛОКЕ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС

*Подлазов Л.Н., Трехов В.Е., Черкашов Ю.М. (НИКИЭТ),
Лоиццо П., Галати А., Норелли Ф. (ЕНЕА, Италия)*

Авария на четвертом энергоблоке Чернобыльской АЭС явилась событием, в котором сфокусировались и переплелись сложные пространственно-распределенные процессы (нейтронно-физические, теплогидродинамические, химические и тепломеханические). Поэтому воспроизведение аварии путем численного моделирования оказалось сложным и актуальным стал вопрос о международном сотрудничестве в этой области.

Опыт совместных работ ЕНЕА и НИКИЭТ [1] показал, что организация подобных исследований требует параллельного решения множества сложных научно-методических задач с участием специалистов различного профиля. В России несколькими группами исследователей по различным программам (кодам) ранее были выполнены комплексные расчеты первой фазы аварии. Основные итоги исследований подведены на парижском совещании в апреле 1991 г. [2]. Сделанные на этом совещании выводы об аварии кратко можно сформулировать следующим образом:

основными факторами, повлиявшими на развитие аварии, явились большой положительный паровой коэффициент реактивности и недостатки конструкции СУЗ, проявившиеся при нерегламентном состоянии реактора, в которое он был приведен перед аварией;

существенную роль в развитии аварии сыграли пространственные динамические процессы;

для воспроизведения реального аварийного процесса необходимо детально воспроизвести физические характеристики во всем объеме реактора в предаварийный период;

программные комплексы, применявшиеся для комплексных исследований первой фазы, нельзя считать завершенными, и требуется их дальнейшая модернизация и верификация.

Специалистами разных стран выполнена серия методических исследований по изучению влияния различных факторов на положительную реактивность, возникшую в результате введения стержней СУЗ [3—7]. В работах подтверждена высокая чувствительность положительной реактивности к состоянию активной зоны перед аварией и обоснована необходимость детального воспроизведения предварительных исходных условий при расчетном моделировании первой фазы аварии.

Первым этапом совместного комплексного расчетного анализа аварии на Чернобыльской АЭС явились квазистатистические оценки положительной реактивности по расчетным кодам DINA [8] и CITATION [9]. В качестве исходной информации для формирования предаварийного состояния реактора использовались результаты восстановления трехмерных полей нейтронов по информации, зарегистрированной приблизительно за 2 мин до аварии системой СКАЛА.

Постановка задачи. Основными задачами исследований были следующие:

сформировать исходное состояние реактора, корректно согласующееся с зарегистрированными данными;

провести с этими исходными данными квазистатистические оценки положительной реактивности по различным трехмерным программам (DINA и CITATION) на базе полиячеечной библиотеки констант [10].

Для корректной постановки трехмерной задачи необходимо определить во всех расчетных точках объема физические и теплогидравлические характеристики реактора, т.е. для каждой расчетной точки необходимо иметь в качестве начальных данных состав загрузки, выгорание топлива, концентрацию ксенона, температуру твэлов и графита, плотность теплоносителя и положение стержней СУЗ. Задача усложнялась тем, что реактор перед аварией находился не в строго стационарном состоянии.

Штатной системой автоматизированного контроля СКАЛА регистрируются следующие данные, по которым можно судить о состоянии реактора: состав загрузки, среднее выгорание топлива по каждой ТВС, показания 130 серебряных 7-метровых датчиков радиального потока нейтронов (ДКЭР) и 12 7-секционных высотных датчиков (длина каждой секции 1 м) (ДКЭВ), положение стержней СУЗ, расход теплоносителя через каждую ТВС, общая тепловая мощность реактора.

Исходя из сказанного, можно констатировать, что задача формирования с необходимой степенью точности всех требуемых исходных данных путем прямого расчета поведения реактора в предаварийный период сама по себе является комплексной, сложной и трудоемкой, не решенной до настоящего времени. Поэтому, не исключая в дальнейшем возможности ее решения, на данном этапе оказалось более эффективным пойти по пути «обратной» задачи. Этот подход состоял в следующем. По зарегистрированным показаниям внутриреакторных датчиков ДКЭР и ДКЭВ, данным о загрузке, интегральном выгорании, положении стержней СУЗ и мощности каналов по специальной методике НИКИЭТа, отработанной и проверенной на действующих РБМК [11, 12], восстанавливалось трехмерное нейтронное поле в каждом элементарном объеме. Затем с помощью библиотеки констант [10] определялось усредненное по всем каналам высотное поле нейтронов каждой полиячейки, которое представлялось в виде ряда по четырем гармоникам. Далее, используя данные о загрузке, положении стержней СУЗ, ориентировочные данные о распределении выгорания топлива по высоте ТВС, отравлении ксеноном и температуре графита, а также плотности теплоносителя, по библиотеке полиячеечных констант находили приближенные физические свойства среды в объеме реактора. Применяя в качестве начального приближения эти физические свойства в объеме реактора, по специально разработанному алгоритму в трехмерной программе DINA корректировали константы таким образом, чтобы получить соответствие рассчитанного поля нейтронов в объеме реактора с заданным полиячеечным объемным полем и при этом обеспечить критичность реактора. Полученное таким образом состояние реактора принималось за исходное при расчетных исследованиях.

В настоящей работе рассчитывали квазистатистическую оценку положительной реактивности в зависимости от введения в активную зону всех стержней СУЗ ступеньками через 40 см. Для этого на каждой ступеньке проводили статический расчет возмущенного состояния. Все обратные связи при этом были отключены, не учитывались поведение запаздывающих нейтронов и кинематика движения поглотителя и вытеснителя, что позволило получить верхнюю оценку эффекта.

Восстановление аксиальных полей нейтронов по показаниям высотных датчиков. Поскольку в настоящей работе исследовалась статическая оценка положительной реактивности при перемещении стержней СУЗ без учета обратных связей по реактивности, соответственно уменьшилось и число факторов, которые могли бы повлиять на результаты. В данной постановке задачи из всех факторов, которые могут оказать влияние на положительную реактивность, существенную роль может играть только исходный профиль объемного поля нейтронов, положение стержней СУЗ и библиотека констант. Так как исходное положение стержней СУЗ известно из распечаток системы СКАЛА, а библиотека констант проанализирована на первом этапе сотрудничества ЕNEA и НИКИЭТа [13—16], в настоящей работе основное внимание было сосредоточено на анализе исходных данных о распределении нейтронных полей, которые используются при расчетных исследованиях первой фазы аварии.

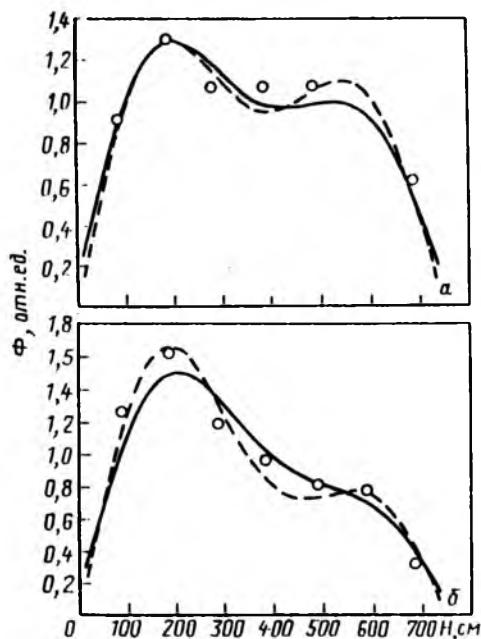
В состав информации, зарегистрированной приблизительно за 2 мин до аварии системой СКАЛА, входят и показания 12 7-секционных высотных датчиков.

При восстановлении трехмерных нейтронных полей на основе зарегистрированной информации по принятой методике [11, 12] важную роль в формировании профиля аксиального поля играют данные показаний ДКЭВ, равномерно расположенных по активной зоне. В системе СКАЛА имеется специальный алгоритм обработки этих показаний для обеспечения оперативной информацией персонала АЭС [11]. Он включает корректировку первичных показаний каждой секции ДКЭВ для учета выгорания датчиков; подсчет интегрального тока каждого датчика; аппроксимацию показаний каждого ДКЭВ в виде ряда Фурье с тремя гармониками (B_{1-3}); расчет среднего аксиального поля нейтронов реактора на основе аппроксимированных данных всех датчиков. Полученные в результате обработки данные об амплитуде трех гармоник и среднем высотном поле используются оперативным персоналом для управления и стабилизации высотного поля в реакторе. Такая аппроксимация показаний ДКЭВ является достаточной для контроля, оперативного управления и стабилизации аксиальных нейтронных полей. Однако при расчетном моделировании положительной реактивности, значительно зависимой от конкретных особенностей профиля аксиального поля, использование трех или четырех гармоник может оказаться недостаточно корректным. В связи с этим была предпринята попытка качественно оценить тенденцию возможных искажений положительной реактивности, получаемых на основе аппроксимированных показаний ДКЭВ. Для этого на базе имеющихся в распечатке системы СКАЛА данных получили откорректированные показания всех секций ДКЭВ, приведенные в таблице.

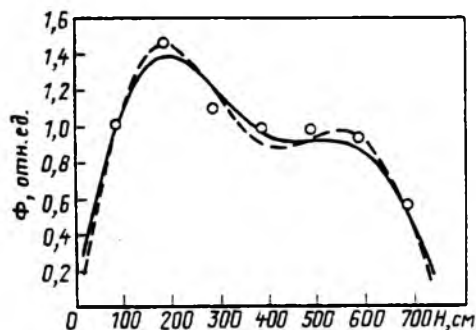
Корректированные и нормализованные показания высотных датчиков

Номер датчика	Номер секции датчиков						
	1	2	3	4	5	6	7
1	0,918	1,289	1,063	1,062	1,056	0	0,612
2	1,278	1,655	1,135	0,985	0,829	0,787	0,331
3	0,844	1,245	1,079	1,021	0,929	1,127	0,756
4	0,941	1,575	1,039	0,908	1,035	0,934	0,568
5	0,941	1,341	1,188	1,106	1,019	0,889	0,515
6	1,017	1,378	1,057	0,989	0,985	0,909	0,665
7	0,811	1,303	1,126	0,947	0,955	0,858	0
8	0,903	1,331	1,126	1,015	1,009	0	0,616
9	0,953	1,350	1,129	0,992	0,983	0,979	0,614
10	1,238	1,715	0,695	0,971	1,002	0,926	0,451
11	1,200	1,560	1,205	0,870	0,827	0,778	0,561
12	0	1,647	1,216	0,904	0,904	0,804	0,526

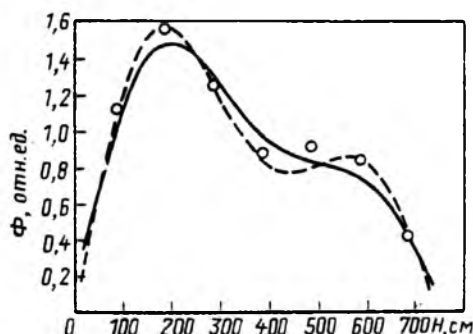
0 — секция датчика отключена.



Р и с. 1. Анализ данных датчика 1 (а) и 2 (б):
○ — показания детектора; ---, — — стандартное разложение системы СКАЛА и аппроксимация по программе DINA соответственно



Р и с. 2. Сравнение данных о состоянии высотного поля, усредненного по радиусу: ○ — показания датчиков; ---, — — стандартное разложение системы СКАЛА; — — показания датчиков, обработанные по программе DINA



Р и с. 3. Скорректированная секция 3 датчика 10: ○ — показания детектора; ---, — — стандартное разложение системы СКАЛА и аппроксимация по программе DINA соответственно

Далее сравнивали показания секций ДКЭВ с результатами, полученными после штатной аппроксимации ДКЭВ тремя гармониками и восстановления поля чечечного трехмерного поля. Из такого сопоставления (рис. 1) следует, что штатная аппроксимация показаний ДКЭВ тремя гармониками надежно отражает перекося поля в направлении верхней половины реактора, но одновременно усиливает провал нейтронного поля в центральной части. Видно также, что аппроксимация показаний ДКЭВ искусственно формирует провал в центре даже при его отсутствии в исходных данных. Очевидно, что завышение или искусственное формирование провала потока нейтронов в центральной части активной зоны должно неизбежно приводить к завышению расчетной положительной реактивности.

На рис. 2 приведено для сравнения усредненное по всем ДКЭВ высотное нейтронное поле реактора, полученное на основе зарегистрированных показаний ДКЭВ и аппроксимированных штатных и восстановленных значений. Исходное поле по показаниям ДКЭВ не имеет провала в центре реактора, в то время как среднее аппроксимированное поле описывается с заметным провалом в центре реактора.

Из сопоставления результатов можно сделать несколько выводов.

1. Восстановленное по методике [12] трехмерное поля чечечное нейтронное поле, которое используется в качестве исходного в программах DINA и CITATION, лучше отражает показания высотных датчиков ДКЭВ, чем штатная аппроксимация тремя гармониками.

2. Штатная аппроксимация высотных полей тремя гармониками достаточна для оперативного контроля и стабилизации аксиального поля, но не может быть использована в качестве исходной информации для расчетного анализа первой фазы аварии на Чернобыльской АЭС, поскольку завышает и даже искусственно формирует провал в центре в исходном нейтронном поле.

3. Методика [12], применяемая для восстановления трехмерного поля, должна приводить к некоторому завышению оценки положительной реактивности, хотя и вызывает меньшее завышение степени провала нейтронного поля в центре реактора.

4. В районах, где вблизи ДКЭВ не было погруженных стержней СУЗ, наблюдался мак-

симум относительного поля в секции 2 ДКЭВ (например, датчики 1, 10, 11). И наоборот, в тех районах, где вблизи ДКЭВ были частично погруженные стержни СУЗ, отмечалось заметное снижение относительного максимума поля в секции 2 ДКЭВ. Это косвенно указывало на то, что высотные датчики при работе реактора на мощности приблизительно 7% номинальной находились в работоспособном состоянии и по ним можно было контролировать высотное поле.

5. Совместное рассмотрение показаний ДКЭВ и их интегральных показателей потока, приведенных на распечатке СКАЛЫ, свидетельствовало, что показания секции 2 ДКЭВ датчика 10 являются заниженными примерно в 2 раза (рис. 3).

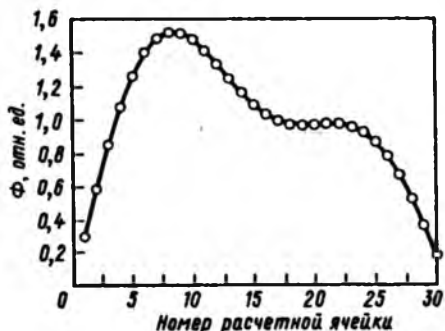
Расчетные исследования оценки положительной реактивности. С учетом проведенного анализа исходных данных о нейтронных полях расчетные исследования проводились по программам DINA и CITATION. Кроме этого была проведена предварительная оценка погрешности определения за счет аппроксимации высотных полей ограниченным рядом гармоник.

Некоторые результаты формирования исходного состояния по программе DINA можно видеть на рис. 4—6. Расчетное $K_{эф}$ при этом оказалось равным 1,000054. Можно отметить хорошее совпадение исходных и рассчитанных полей нейтронов после их формирования программой DINA, несмотря на сложный профиль и неоднородную исходную загрузку. Сформированное программой DINA исходное физическое состояние преобразовывалось по специально разработанному алгоритму [17] для ввода его характеристик в программу CITATION. Сопоставление результатов расчета по обеим программам показало хорошее совпадение результатов, несмотря на принципиальные отличия в численной расчетной схеме.

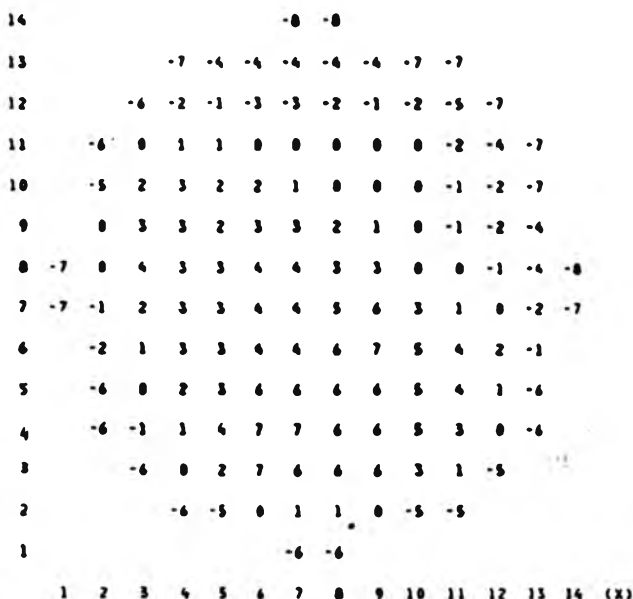
На рис. 7 показана деформация статических высотных средних полей при последовательном ступенчатом введении в активную зону стержней СУЗ, полученная по программам DINA и CITATION.

[illegible]

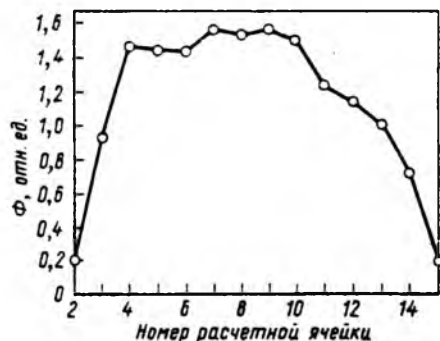
Методические исследования по программе CITATION влияния дискретизации полиячеек при решении уравнения диффузии нейтронов на



Р и с. 4. Средние по всем поливающим исходные (О) и рассчитанные высотные поля (—)



Р и с. 5. Картограмма относительных отклонений исходного радиального поля от среднего (умножено на 10) в системе координат программы DINA



Р и с. 6. Распределение нейтронного поля по одному из диаметров активной зоны

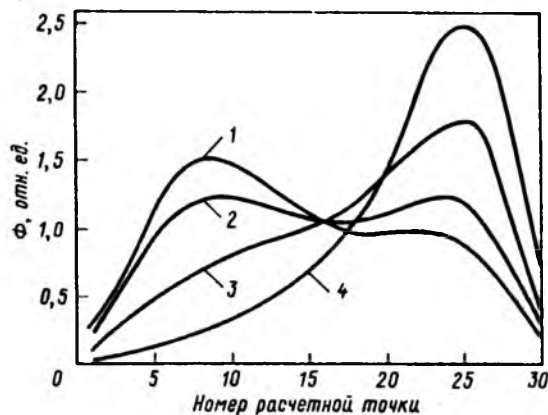
основе полиячеечной библиотеки констант [18] показали также, что при использовании одной расчетной точки на каждую полиячейку возможна заметная погрешность как $K_{эф}$, так и деформации полей. В этой же работе было показано, что погрешность резко убывает при снижении неоднородности свойств полиячеек, и рекомендовано для практических расчетов использовать четыре точки на полиячейку. В последнем случае реактивность составила $0,552\beta$ вместо $0,58\beta$ при одной расчетной точке на полиячейку.

Расчетные исследования положительной реактивности при исходном состоянии реактора, которые сформированы на основании данных, зарегистрированных приблизительно за 2 мин до аварии системой СКАЛА, позволяют сделать следующие выводы:

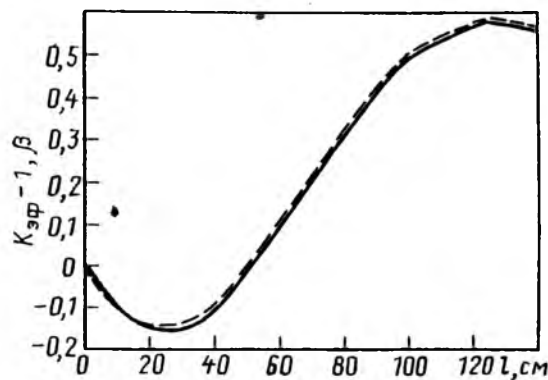
статическая положительная реактивность достигает максимума при перемещении стержней СУЗ на 125 см и не превышает $0,6\beta$;

при перемещении стержней СУЗ до 60 см реактивность отрицательная, более чем на 125 см — уменьшается, в диапазоне 45—90 см наблюдается почти линейное нарастание с наклоном около $6,2 \cdot 10^{-5}$ 1/см, после 90 см темп роста начинает спадать и прекращается при 125 см.

С учетом анализа исходных данных можно утверждать, что в этих расчетах положительная реактивность может оказаться завышенной вследствие использования более сильного провала потока нейтронов в центральной части активной зоны, чем есть на самом деле. Поскольку на данном этапе достаточно точно оценить влияние аппроксимации ДКЭВ на положительную реактивность невозможно, в настоящей работе были проведены ее оценки в зависимости от исходного поля, формируемого при различных предположениях о среднем высотном поле нейтронов. При этом считалось, что профиль среднего высотного поля одинаков во всех полиячейках, а исходное распределение радиального поля и расположение стержней СУЗ соответствуют тем, которые были перед аварией. С учетом этих предположений были рассчитаны следующие варианты, отличающиеся только профилем высотного поля по полиячейкам:



Р и с. 7. Деформация усредненного высотного поля при перемещении стержней СУЗ (расстояние между расчетными узлами 25 см): 1 — исходное поле; 2, 3, 4 — поле после перемещения стержней СУЗ на 25, 50 и 125 см соответственно



Р и с. 8. Зависимость квазистатической оценки положительной реактивности от глубины погружения стержней СУЗ, полученная по программе CITATION (---) и DINA (—)

исходным задается усредненный по всем полиячейкам, где находятся ДКЭВ, профиль высотного поля и затем определяется оценка реактивности при перемещении всех стержней СУЗ на 125 см;

исходным задается профиль высотного поля, который усреднен по показаниям всех ДКЭВ, зарегистрированным перед аварией, и определяется оценка реактивности;

исходным задается профиль высотного поля, который усреднен по показаниям всех ДКЭВ, зарегистрированным перед аварией, и определяется оценка реактивности, но с корректировкой показаний секции 2, датчика 10.

Результаты расчета показывают, что при одних и тех же исходных условиях, положении стержней и профиле радиального поля переход от исходного неоднородного высотного поля к однородному усредненному по всем полиячейкам высотному полю снижает положительную реактивность с $0,58\beta$ до $0,50\beta$, т.е. приблизительно на 15%. Поэтому можно ожидать, что при указанных предположениях об исходных данных точность сравнительных оценок при различных средних высотных полях также будет находиться в пределах 15—20%. Более корректные оценки, учитывающие неоднородность высотного поля, предполагается провести на следующих этапах расчетного анализа.

Переход от однородного среднего высотного полиячеечного поля, используемого в программе DINA, к однородному среднему высотному полю, полученному по исходным (нескорректированным и скорректированным) показаниям ДКЭВ, снижает эффект приблизительно от 0,5 до 0,26 и 0,14 β соответственно, т.е. почти в 2 раза, что заметно превосходит оцененную погрешность (приблизительно на 20%) перехода от неоднородного высотного поля к однородному высотному полю нейтронов.

Оценки зависимости положительной реактивности от точности аппроксимации показаний ДКЭВ при восстановлении исходного трехмерного поля дают основание полагать, что реальная реактивность не превосходит $0,6\beta$ [6, 7]. Для получения более точной оценки положительной реактивности необходимо дополнительное тщательное восстановление исходного трехмерного нейтронного поля перед аварией, в частности, с учетом влияния на него тех особенностей профиля аксиальных полей, которые могут существенно сказаться на степени нейтронной связи верхней и нижней половин реактора. Эти результаты качественно согласуются с данными работы [3]. Количественные отличия связаны, по-видимому, с тем, что в работе [3] перемещение стержней СУЗ взято равным 100 вместо 125 см, а также с отличием используемых библиотек физических констант.

В заключение следует еще раз отметить, что штатная система аппроксимации показаний ДКЭВ тремя гармониками, дающая достаточную информацию для оперативного контроля и стабилизации аксиального поля, недостаточна для корректной оценки таких эффектов, как положительная реактивность при введении стержней в зону по сигналу аварийной защиты. Аппроксимация показаний ДКЭВ тремя или четырьмя гармониками не только усиливает провал нейтронного поля в центре реактора, но и его формирует даже при отсутствии в исходных показаниях ДКЭВ. Расчетные исследования по трехмерным программам DINA и CITATION показали, что при корректном использовании данных о высотном распределении нейтронных полей к моменту начала аварии на Чернобыльской АЭС консервативная оценка положительной реактивности не превышает $0,6\beta$ ($\beta = 5 \cdot 10^{-3}$) и достигает максимума при перемещении стержней СУЗ на 125 см.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Danilova E., Podlazarov L., Trekhov V. e.a. Experience and Perspectives of the Development of Common 3-D Dynamics Code Complex for Large Power Reactors Safety Problem. IAEA Techn. Com. Meet. on Safety of RBMK Reactors, Vienna, April 6—10, 1992, p. 211.
2. Велихов Е.П., Пономарев-Степной Н.Н., Асмолов В.Г. и др. Современные представления о возникновении и развитии аварии на ЧАЭС. — В сб.: Избранные труды Международной конференции «Ядерные аварии и будущее энергетики. Уроки Чернобыля», Париж, 1991, апрель 15—17, с. 12.

3. Chan P., Dastur A. The sensitivity of positive scram reactivity neutronic decoupling in the RBMK-1000. — Nucl. Sci. Engng, 1989, v. 103, p. 289.
4. Loizzo P. 2-D and 3-D Neutron Calculations during the Chernobyl Transient. ENEA-RDIPE Rep. FT-WAA-00008, 1991.
5. Loizzo P. Xe Distribution Effect on the Initial Power Distribution of the Chernobyl Accident. ENEA-RDIPE Rep. FT-WAA-00009, 1992.
6. Адамов Е.О., Василевский В.П., Ионов А.И. и др. Анализ первой фазы развития аварийного процесса на четвертом блоке Чернобыльской АЭС. — Атомная энергия, 1988, т. 64, вып. 1, с. 24.
7. Абагян А.А., Аршавский И.М., Дмитриев В.М. и др. Расчетный анализ начальной стадии аварии на Чернобыльской АЭС. — Там же, 1991, т. 71, вып. 4, с. 275.
8. Danilova E., Zinovjeva N., Podlazarov L. e.a. Problems of the Creation the Full-Scale Computer Code Complex «TROJA» for RBMK-Type reactor NPP's simulation. RBMK Safety — Bilateral ENEA-RDIPE Agreement on the Dynamics Modelling under Severe Accidents. Second Bilateral ENEA-RDIPE Working Meeting, Rome, 1990, May 20—25.
9. Fowler T., Vondy D., Cunningham G. Nuclear Reactor Core Analysis: CITATION. ORNL-TM-2496, Rev. 2, Oak-Ridge, 1971.
10. Stenbock I., Rozhdestvensky M., Podlazarov L. e.a. Methodology and Code to Calculate Two Group Macro Cross Sections in RBMK Reactor Polycell. ET 91/03, Moscow, 1991.
11. Емельянов И.Я., Постников В.В., Володько Ю.И. и др. Контроль и регулирование энергораспределения в РБМК. — Атомная энергия, 1980, т. 48, вып. 6, с. 360.
12. Броницкий Л.Л., Постников В.В., Пошин В.А. и др. Восстановление трехмерного поля энерговыделения в ТВС РБМК-1500. — Там же, 1991, т. 70, вып. 4, с. 246.
13. Loizzo P. RBMK Super Cell: Void Effect and Control Rod Worth. A Benchmark Evaluation. ENEA-RDIPE Rep. FT-WAA-00005, 1991.
14. Loizzo P. Alternate Calculation of RBMK Control Rod Worth. Addendum to the Benchmark Evaluation. ENEA-RDIPE Rep. FT-WAA-00006, 1991.
15. Loizzo P. Qualification and Adjustment of WIMS Cross Section for Chernobyl. ENEA-RDIPE Rep. FT-WAA-00007, 1991.
16. Rozhdestvenskij M.I., Gusejnova O.E., Davydov V.K., Tochenyi L.V. Neutronics Calculation of Two-dimensional Polylattices and Reactivity Effects of Channel-type Water-graphite Reactors. Second Bilateral ENEA-RDIPE Working Meeting. Rome, 1990, May 20—25.
17. Trekhov V., Podlazarov L. Automatic CITATION Input for the RBMK Polycell Microscopic Cross Section Model. ENEA-RDIPE Rep. FT-WAA-00015, 1992.
18. Loizzo P., Podlazarov L., Trekhov V. Spase Discretization on RBMK with Polycell Physical Constants. ENEA-RDIPE Rep. FT-WAA-00017, 1992.

Поступила в Редакцию 22.06.94

УДК 621.181:621.039.524.44—98

ПАРОГЕНЕРАТОРЫ ЭНЕРГООБЛОКОВ АЭС С ВВЭР-1000

Титов В.Ф. (ОКБ «Гидропресс»)

Энергоблоки АЭС с ВВЭР-1000 начали эксплуатироваться с 1980 г. и по состоянию на август 1993 г. их насчитывалось 19 (7 в России, 10 на Украине, 2 в Болгарии). С конца 1986 по 1991 г. на парогенераторах ПГВ-1000 (1000М) этих энергоблоков были обнаружены повреждения на выходных («холодных») коллекторах теплоносителя в виде трещин коррозионно-механического происхождения в перемычках между отверстиями перфорированной зоны. Повреждения появлялись только на холодных коллекторах и только в зоне вертикальной оси, проходящей через вершину неперфорированного клина. Конструкция ПГВ-1000 является развитием конструкций горизонтальных парогенераторов АЭС с ВВЭР-440 и показана на рис. 1. Технические характеристики парогенераторов следующие:

	ПГВ-440	ПГВ-1000
Тепловая мощность, МВт. . .	229,2	750
Паропроизводительность (расчетная), кг/с. . .	125	408,33
Давление генерируемого пара, МПа. . .	4,61	6,27
Температура, °С:		
пара. . .	258,9	278,5
питательной воды. . .	164—223	164—220