

УДК 621.039.517.5

Влияние пространственного энерговыделения на распределение температуры гелия в реакторе с шаровыми ТВЭлами

КАРПОВ В. А., СЕГАЛЬ М. Д.

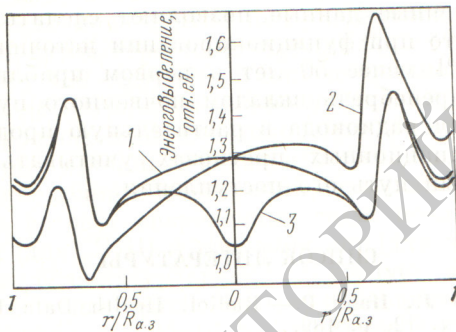
Известно, что температура теплоносителя на выходе при заданной общей мощности реактора определяется энергораспределением в объеме заправки шаровых ТВЭлов, расходом гелия, теплофизическими и аэродинамическими характеристиками газового потока и т. д. Цель настоящей работы — исследовать наиболее существенные факторы с точки зрения их влияния на распределение температуры газа в активной зоне высокотемпературного реактора, загружаемой такими ТВЭлами [1]. Азимутально-радиальные и аксиальные составляющие энергораспределения в активной зоне реактора определялись с использованием комплекса вычислительных программ нейтронно-физического расчета [2, 3]. Программы использованы для учета влияния различных возмущений, вызывающих деформации пространственного энерговыделения в шаровой заправке высокотемпературного реактора. Трехмерные температурные поля рассчитывали по программе, описанной

в работах [4, 5]. Эмпирические коэффициенты, характеризующие гидравлическое сопротивление, теплоотдачу и перенос, взяты из работ [6] и [7]. Эффективный коэффициент переноса для шаровой заправки [7] учитывает все механизмы обмена. Исходные данные при определении температурных полей следующие:

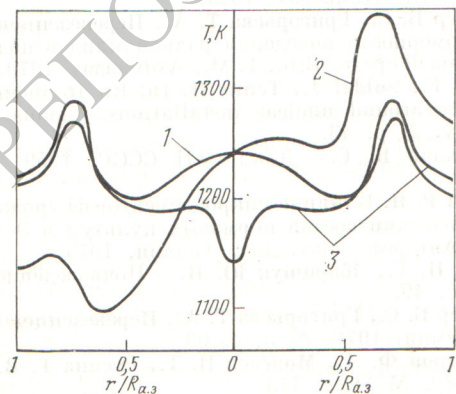
активная зона имеет форму цилиндра диаметром 6,4 и высотой 4,8 м;
номинальная мощность реактора ~1100 МВт;
давление и температура гелия на входе в реактор ~5·10³ кПа и 620 К соответственно;
расход теплоносителя, соответствующий температуре газа на выходе из активной зоны 1220 К, составляет 340,6 кг/с.

Анализ результатов трехмерных расчетов температуры теплоносителя в активной зоне полезно начать с рассмотрения варианта без учета каких-либо случайных возмущений. Сравнение профиля энерговыделения температуры теплоносителя (рис. 1 и 2) свидетельствует о том, что основным фактором при формировании температурного поля гелия является пространственное энерговыделение. Другими словами, в реакторе этого типа процессы перемешивания теплоносителя относительно слабо влияют на температуру газа. Для номинального режима превышение максимальной температуры над среднемассовой на выходе из реактора составляет ~50 К. Следует отметить, что при трехмерном теплогидравлическом расчете источник энерговыделения получают аппроксимацией энергораспределения, вычисленного с помощью нейтронно-физических программ. Эта процедура приводит к некоторому выравниванию поля энерговыделения, используемого в теплогидравлическом расчете, примерно 5—6% в значении K_T .

Из нейтронно-физических расчетов следует, что за счет различных возмущений реактивности деформация пространственного энерговыделения в реакторе данного типа происходит в соответствии с низшими азимутально-радиальными гармониками. Это означает наличие общих отклонений мощности в объеме шаровой заправки. На рис. 3 представлена азимутальная зависимость энерговыделения на радиусе, содержащем абсолютный максимум мощности, для одного из характерных вариантов деформации поля энерговыделения. Из анализа трехмерных температурных полей гелия следует, что при номинальных параметрах теплоносителя в рассматриваемом варианте деформации энерговыделения превышение максимальной температуры газа над среднемассовой на выходе из активной зоны составляет 150 К. Интересно, что коэффициенты неравномерности аппроксимированного поля энерговыделения и поля температуры газа на выходе, определенного по подогревам, составляют 1,25*. Из рис. 1—3 следует, что поле температуры газа соответствует полю энерговыделения. Оценка среднемассовой температуры газа в 90°-м секторе на выходе из активной зоны, включающем абсолют-



Р и с. 1. Расчет энерговыделений в активной зоне: 1 — номинальное распределение; 2 — перекоз энерговыделения по первой гармонике; 3 — погружение центрального стержня



Р и с. 2. Расчетный профиль температуры на выходе из активной зоны: 1, 3 — см. рис. 1; 2 — глобальный перекоз

* По физическому расчету $K = 1,33$.

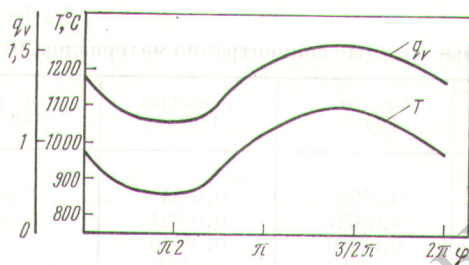
ный максимум температуры гелия, показывает, что в таком секторе средняя температура теплоносителя почти на 100 К превышает среднемассовую (1220 К) на выходе из реактора. При этом среднемассовая температура определялась с помощью выражения

$$\bar{T} = \frac{\int_{\varphi}^{\varphi+90^{\circ}} \int_0^R T(r, \varphi) r \rho c_p dr d\varphi}{\int_{\varphi}^{\varphi+90^{\circ}} \int_0^R r \rho c_p dr d\varphi}.$$

Помимо исследования влияния глобальных перекосов мощности на распределение температуры теплоносителя, важное значение имеет изучение температурных полей газа при локальной деформации энерговыделения. С этой целью полезно рассмотреть воздействие поглощающих стержней на распределение температуры гелия на выходе из реактора. На рис. 1 представлен профиль энерговыделения в случае погружения поглощающего стержня в центре активной зоны. Для рассматриваемого варианта распределение температуры газа на выходе из реактора показано на рис. 2. Полученные результаты свидетельствуют о том, что в центре сформировалась область с уменьшенной температурой теплоносителя. Размер этой локальной зоны определяется радиусом 60 см. Из сопоставления кривых, характеризующих энерговыделение и температурные поля теплоносителя при введении в шаровую засыпку поглощающего стержня, следует, что распределение температуры газа соответствует энергораспределению.

Представляет интерес исследовать процессы формирования температурных полей в активной зоне при пониженных выходных параметрах теплоносителя, например при $T_{\text{вых}} = 1020$ К. Уменьшение выходной температуры гелия можно обеспечить увеличением расхода газа или снижением мощности реактора. Из анализа расчетных данных следует, что оба способа дают почти одинаковые результаты. Этот факт объясняется тем, что увеличение расхода обуславливает интенсификацию процессов перемешивания, а снижение энерговыделения ведет к уменьшению мощности источника, к снижению неравномерности поля расходонапряженности и, как следствие, поля температуры. При пониженных параметрах теплоносителя за счет идентичной азимутальной неравномерности поля энерговыделения превышение максимальной температуры газа над среднемассовой составляет 90 К, т. е. различается на 60 К при температуре на выходе из реактора 1020 и 1220 К за счет одинаковых перекосов поля энерговыделения. Такое усиление роли процессов выравнивания при уменьшении мощности или увеличении расхода обусловлено указанными выше причинами и качественно подтверждается экспериментами на реакторе AVR [8].

На основании результатов комплексных трехмерных нейтронно-физических и теплогидравлических расчетов,



Р и с. 3. Расчетные азимутальные зависимости энерговыделения в активной зоне и температуры газа на выходе из реактора на радиусе, соответствующем максимальному значению мощности (по абсциссе первое значение $\pi/2$)

выполненных с учетом возможных отклонений энергораспределения в активной зоне реактора с шаровыми твэлами, можно сделать следующие выводы:

1. Доминирующим фактором для формирования трехмерных полей температуры теплоносителя в засыпке шаровых твэлов является пространственное энерговыделение. Из трехмерных расчетов следует, что азимутально-радиальное распределение температуры газа на выходе из реактора достаточно близко соответствует профилю энерговыделения.
2. Уменьшение средней температуры газа на выходе из реактора сопровождается уменьшением неравномерности поля температуры теплоносителя. Установлено, что при средней температуре газа 1020 К азимутально-радиальная неравномерность поля температуры гелия на выходе из реактора ниже, чем для номинальных расчетных параметров ($T_{\text{вых}} = 1220$ К) при одинаковой неравномерности пространственного энерговыделения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Комаров Е. В. и др. — Атомная энергия, 1979, т. 47, вып. 2, с. 79.
2. Карпов В. А. Препринт ИАЭ-2639. М., 1976.
3. Гольцев А. О., Карпов В. А. Препринт ИАЭ-2795. М., 1977.
4. Сегаль М. Д. Препринт ИАЭ-2785. М., 1977.
5. Сегаль М. Д. — Теплофизика высоких температур, 1977, т. XV, № 6, с. 1319.
6. Боговлянский Р. Г. Гидродинамика и теплообмен в высокотемпературных ядерных реакторах с шаровыми твэлами. М., Атомиздат, 1978.
7. Аэров М. Э., Тодес О. М. Гидравлические и тепловые основы работы аппаратов со стационарным и кипящим зернистым слоем. Л., Химия, 1968.
8. Von Wischnewski R., Wingens G. Auswertung radialer Gasaustrittstemperaturprofile am AVR-Reactor. Reaktortagung 1978, S. 988. Hannover, 4—7 Apr. 1978.

Поступило в Редакцию 31.07.80
В окончательной редакции 19.01.81

УДК 621.039.526

Основные нейтронные характеристики бесконечной размножающей среды из двуокиси урана

БУШАР Ж., ДАРУЗЕ М., МАРТИН-ДЕДЬЕ Л. (ФРАНЦИЯ), ДУЛИН В. А., КАЗАНСКИЙ Ю. А., МОЖАЕВ В. К. (СССР)

Получение экспериментальных нейтронно-физических характеристик бесконечных размножающих сред представляет интерес для уточнения групповых констант, которые в настоящее время широко применяются для расчетов энергетических быстрых реакторов. Действительно, расчет нейтронных характеристик бесконечных сред (критическое обогащение, отношения средних сечений основ-

ных делящихся и воспроизводящих материалов) сводится к решению энергетической задачи. Отсутствие необходимости расчета пространственных распределений скорости реакций и утечки нейтронов позволяет лучше выявить константную погрешность расчета. С другой стороны, экспериментальные результаты, полученные для бесконечных сред, могут служить международным стандартом для