

— усилия сжатия/растяжения, развиваемые испытательной машиной, выдерживались в соответствии с диаграммой и измерялись с погрешностью, равной 1%;

— в процессе испытаний произошло снижение усилия предварительного затяга, что было отмечено при отвинчивании после испытаний (момент отвинчивания в резьбовых соединениях снизился соответственно на центральном болте до 40 кгм, на контргайке и гайке снизился до 1000 кгм), вероятной причиной является тот факт, что затяжка резьбовых соединений велась без предварительной опрессовки резьбы;

— при осмотре деталей после разборки опорного устройства нарушения целостности материалов конструкции не обнаружено;

— керамические покрытия, нанесенные на торцы втулки и сферической шайбы для обеспечения электрической изоляции гибкого элемента, не нарушены;

— результаты испытаний подтвердили работоспособность и надежность опорного устройства на протяжении 3000 циклов. Опорное устройство работало без изменения зазоров в резьбовых соединениях и на стыках деталей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Design** Description Document. 1.6. Blanket. 1.2.2. Module Attachments. G 16 DDD XX 01-06-07 W 0.1.

Статья поступила в редакцию 9 июня 2003 г.

Вопросы атомной науки и техники.

Сер. Термоядерный синтез, 2003, вып. 4, с. 45—52

УДК 621.039

ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ МОДУЛЯ БЛАНКЕТА РЕАКТОРА ИТЭР

А.М. Епинатьев, А.И. Емельянов, П.В. Балабин

В статье проведено сравнение экспериментальных и расчетно-аналитических результатов по гидродинамике коллекторных систем, используемых в проекте системы охлаждения модуля бланкета реактора ИТЭР. Показано, что математическая модель, используемая для расчета и моделирования некоторых сложных гидравлических сопротивлений, требует усовершенствования в плане более точной спецификации используемых составных частей общего коллекторного сопротивления коаксиальных каналов.

STUDY OF HYDRAULIC COOLING SYSTEM FOR ITER BLANKET MODULE. A.M. EPINATIEV, A.I. EMELYANOV, P.V. BALABIN. Results of experimental and computational studies of manifolds designed for ITER blanket module cooling system are compared. It is shown that the mathematical model used for computations and modeling of some complex hydraulic resistances requires improvement. In particular, specifications of components of the general resistance of coaxial manifold channels should be adjusted.

Защитная часть модуля blankets реактора ИТЭР представляет собой железобетонную защиту, образованную массивом параллельных коаксиальных каналов, по которым циркулирует водный теплоноситель. Общий вид системы параллельных коаксиальных каналов и схема течения теплоносителя по ним представлены на рис. 1. Параллельные коаксиальные каналы объединены общими коллекторами, входным (плоским) и выходным (трубчатым), которые образуют систему охлаждения модуля blankets.

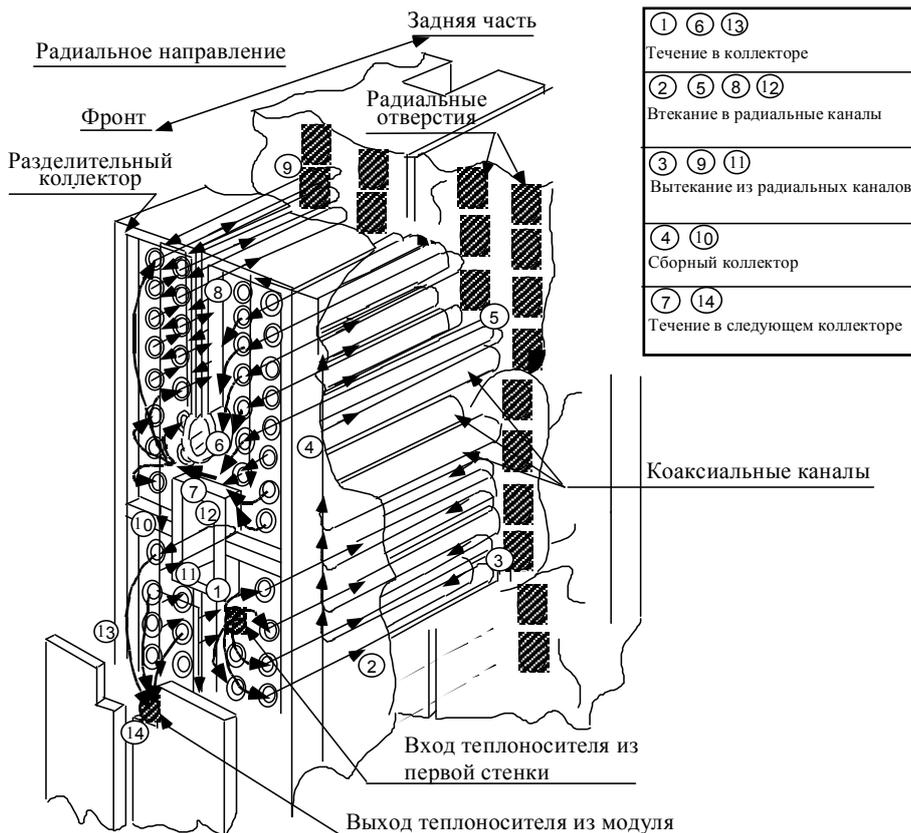


Рис. 1. Схема течения теплоносителя по защитной части модуля

Гидравлический расчет такой коллекторной системы охлаждения был выполнен с использованием гидравлических характеристик коаксиальных каналов и гидравлики коллекторных систем. По результатам расчета, который основывался на моделировании некоторых гидравлических сопротивлений, было определено расчетное распределение расходов по коаксиальным каналам. Величина расходов по каналам монотонно возрастает по длине коллектора. Расчетное распределение расходов по коаксиальным каналам представлено на рис. 2. Однако, учитывая сложность гидравлического тракта, который представляет собой систему параллельных каналов, связанных входным и выходным коллекторами, имеющиеся расчетные методики [1, 2] не могут точно описать подобную гидравлическую систему. В частности в них не учитывается, например, возможное влияние гидравлического сопротивления выходного коллектора, что может привести к неустойчивой работе коаксиальных каналов.

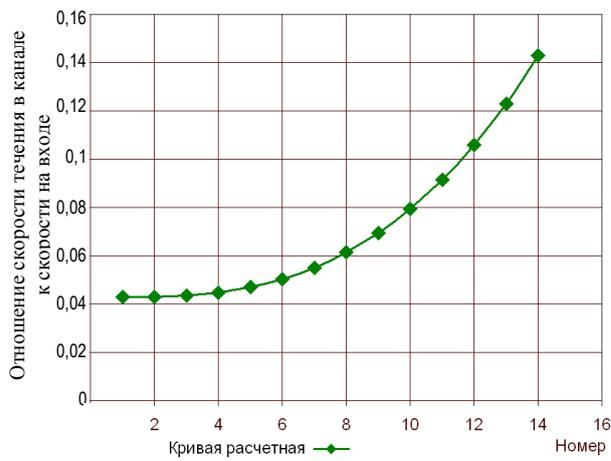


Рис. 2. Расчетное распределение расходов по коаксиальным каналам

Поэтому параллельно с гидравлическим расчетом были проведены экспериментальные исследования характерной части системы охлаждения защитной части модуля бланкета, в которой число Эйлера, характеризующее влияние коллектора на распределение расходов в каналах, определенное как отношение перепада давления в каналах к динамическому напору на входе в коллектор, составило около 8. Эксперименты проводились на стенде плоского моделирования (гидро-

лоток), который предназначен для изучения гидродинамической структуры визуализированного потока [3, 4]. Целью эксперимента было определение качественной структуры течения, влияющей на распределение потоков в параллельных каналах, которая в данном случае определяется геометрией проточной части и влияет на распределение потоков в каналах.

Плоская модель части модуля, используемая в эксперименте, представлена на рис. 3. Эксперимент выявил существование обратных потоков (расходов) в отдельных коаксиальных каналах, что не совпадает с расчетным распределением расходов. Неравномерность распределения потоков в коаксиальных каналах может быть обусловлена наличием гидравлических потерь, возникающих в результате образования крупномасштабной поперечной циркуляции потока, соизмеримой с расходной скоростью в канале. рис. 4, а также сильным изменением статического давления по длине коллекторов [1].

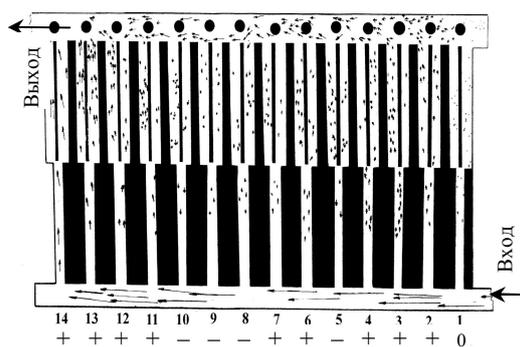


Рис. 3. Плоская модель характерной части модуля с распределением локальных скоростей: +, — направление потока

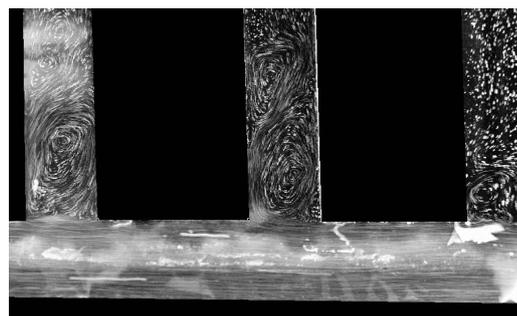


Рис. 4. Вихреобразование при повороте в каналах

Результаты проведенной работы показали, что математическая модель, используемая для расчета и моделирования некоторых сложных гидравлических сопротивлений, требует усовершенствования в плане более точной спецификации ис-

пользуемых составных частей общего гидравлического сопротивления коаксиальной сборки. Были разработаны конструктивные рекомендации по модернизации проточной части модуля бланкета, которые способствуют улучшению распределения расходов теплоносителя по параллельным коаксиальным каналам. Рекомендации были переданы в центральную проектную группу ИТЭР и нашли свое воплощение в конструкции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Решетов В.А., Смирнов В.П., ПикULEVA Т.А.** Гидравлика кругового раздаточного коллектора. — ВАНТ. Сер. Реакторостроение, 1976, вып. 2(13).
2. **Новосельский О.Ю., Решетов В.А., Смирнов В.П.** Оценка коллекторного эффекта в гидравлическом расчете реактора. — ВАНТ. Сер. Реакторостроение, 1976, вып. 2(13), с. 75—76.
3. **Фомичев М.С.** Экспериментальная гидродинамика ЯЭУ. — М.: Энергоатомиздат, 1989.
4. **Шарп Дж.** Гидравлическое моделирование. — М.: Мир, 1984.

Статья поступила в редакцию 5 октября 2003 г.
Вопросы атомной науки и техники.
Сер. Термоядерный синтез, 2003, вып. 4, с. 52—55.

УДК 621.039

ВЛИЯНИЕ ДОЗЫ И ТЕМПЕРАТУРЫ ОБЛУЧЕНИЯ НА ВЫХОД ТРИТИЯ ИЗ ОБЛУЧЕННОГО БЕРИЛЛИЯ

И.Б. Куприянов, В.А. Горохов, В.В. Власов, А.М. Ковалев, В.П. Чакин

В данной статье рассмотрено влияние условий нейтронного облучения на выход трития из бериллия. Бериллиевые образцы облучали в реакторе СМ до флюенса $(0,37—2,0)10^{22} \text{ см}^{-2}$ ($E > 0,1 \text{ МэВ}$) при 70—100 и 650—700 °С. Масс-спектрометрическая техника была использована для послереакторных экспериментов по изучению выхода трития в процессе ступенчатого отжига в интервале температур 250—1300 °С. Содержание гелия в образцах находилось в диапазоне от 521 до 3061 ат. млн⁻¹. Первые следы выхода трития выявлялись при температурах 406—553 °С. Показано, что температура облучения и уровень наработки гелия оказывают значительное влияние на выход трития. От 44 до 74% трития, содержащегося в образцах после низкотемпературного облучения (70—100 °С), выделяется из бериллия при температуре отжига до 800 °С, тогда как для образцов после высокотемпературного облучения (650—700 °С) эта величина не превышала 14%, а большая часть трития (68%) выделялась в температурном диапазоне от 800 до 920 °С. Увеличение наработки гелия от 521 до 3061 ат. млн⁻¹ приводит к уменьшению температуры максимальной скорости выхода трития и температуры завершения выхода трития из бериллия на 100—130 и 200—240 °С соответственно. На основе полученных данных были рассчитаны коэффициенты диффузии трития в бериллии.

THE EFFECT OF HELIUM GENERATION AND IRRADIATION TEMPERATURE ON TRITIUM RELEASE FROM NEUTRON IRRADIATED BERYLLIUM. I.B. KUPRIYANOV, V.A. GOROKHOV, V.V. VLASOV, A.M. KOVALEV, V.P. CHAKIN. The effect of neutron irradiation condition on tritium release from beryllium is described in this paper. Beryllium samples were irradiated in the SM reactor with neutron fluence ($E > 0.1 \text{ MeV}$) of $(0.37—2.0) 10^{22} \text{ cm}^{-2}$ at 70—100 °C and 650—700 °C. Masspectrometry