

Несмотря на сложность методов нейтринной астрономии, ее развитие чрезвычайно желательно и в недалеком будущем, несомненно, усилится. Слишком важны задачи, стоящие перед ней. Наиболее вероятной причиной современного расхождения предсказаний солнечных моделей с наблюдениями нейтрино нам представляются нестационарные явления в области центра Солнца. Они могут вызвать либо временные уменьшения нейтринной светимости, либо снижение средней температуры центра вследствие перемешивания вещества или из-за участия упругих волн в переносе энергии. Будущий анализ явлений этого типа, вероятно, устранил разногласия между расчетами и наблюдениями.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Devis R. e.a. «Phys. Rev. Lett.», 1968, v. 20, p. 205; In: C. L. Cowan Mem. Symp. N.Y., 1979, p. 17.
2. Зельдович Я. Б., Новиков И. Д. Теория гравитации и эволюция звезд. М., «Наука», 1971.
3. Stothers R., Ezer R. «Astrophys. Lett.», 1973, v. 13, p. 45. Clayton D. e.a. «Bull. Amer. Astron. Soc.», 1975, v. 7, p. 242.
4. Власов Н. А. «Атомная энергия», 1975, т. 39, вып. 2, с. 103.

5. Bahcall J., Sears R. «Ann. Rev. Astronom. and Astrophys.», 1972, v. 10, p. 25.
6. Bahcall J., Devis R. «Science», 1976, v. 191, p. 264.
7. Bahcall J. «Astrophys. J.», 1973, v. 184, p. 1.
8. Devis R. In: Proc. Purdue Univ. Conf., 1978, p. 53; «Science News», 1979, v. 115, p. 103.
9. Robert E. In: C. L. Cowan Mem. Symp. N.Y., 1979.
10. Bahcall J. e.a. «Astrophys. J.», 1969, v. 156, p. 559.
11. Гибсон Э. Спокойное Солнце. М., «Мир», 1977.
12. Joss P. «Astrophys. J.», 1974, v. 191, p. 774.
13. Fowler W. «Nature», 1972, v. 238, p. 24; Rood R. «Nature Phys. Sci.», 1972, v. 240, p. 178.
14. Frazier K. «Science News», 1976, v. 109, p. 154; Eddy J. «Science», 1976, v. 192, p. 1189.
15. Eddy J., Boornazian A. «Science News», 1979, v. 115, p. 420; Dicke R. «Nature», 1978, v. 276, p. 676.
16. Severny A. e.a. «Nature», 1976, v. 259, p. 87; Северный А. Б. «Астроном. журн.», 1979, т. 56, с. 1137.
17. Жарков В. Н., Воронцов С. В. «Успехи физ. наук», 1979, т. 128, с. 731; «Астроном. журн.», 1978, т. 55, с. 84.
18. Hill H. e.a. «Observatory», 1976, v. 96, p. 130; «Astrophys. J.», 1977, v. 213, L81.
19. Dicke R., Goldenberg H. «Astrophys. J. Suppl.», 1974, v. 27, p. 131.
20. Власов Н. А. «Атомная энергия», 1978, т. 44, вып. 1, с. 45.
21. Bahcall J. «Rev. Mod. Phys.», 1978, v. 50, p. 881.

Поступила в Редакцию 27.03.80

УДК 621.039.553

## Петлевая установка с органическим теплоносителем реактора МИР

ЦЫКАНОВ В. А., АВЕРЬЯНОВ П. Г., АНИСИМОВ В. П., КАБАНОВ Ю. А., КЛОЧКОВ Е. П., КУПРИЕНКО В. А., КУСОВНИКОВ А. С., РОЖДЕСТВЕНСКАЯ Л. Н., СИМОНОВ Ю. Г., СИДОРОВ В. В.

В последние годы резко возрос интерес к проблеме теплоснабжения городов и промышленных предприятий от ядерных энергоисточников. С новых позиций были оценены достоинства и недостатки различных теплоносителей при параметрах работы специализированных реакторов, предназначенных для выработки тепла. Отмечается, что использование высокотемпературных органических теплоносителей создает предпосылки для успешного решения проблем при создании реакторов для атомных станций теплоснабжения.

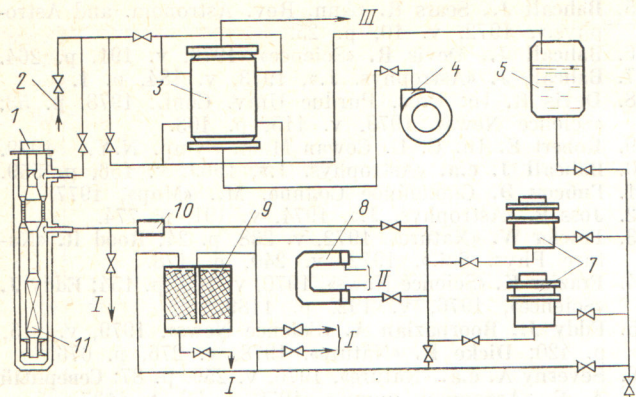
В связи с этим особое значение приобретает экспериментальная база, с помощью которой можно решать основные вопросы, возникающие при практической реализации реакторов с высокотемпературным органическим теплоносителем, в частности при разработке экономичных и высоконадежных твэлов [1]. Это связано с проведением большой серии реакторных испытаний прототипных твэлов и ТВС в условиях их эксплуатации, а также в различных аварийных ситуациях.

В настоящий момент в СССР эксплуатируется только один реактор с высокотемпературным органическим теплоносителем — АРБУС [2], что ограничивает объем испытаний новых типов твэлов. К тому же этот реактор не имеет биологической

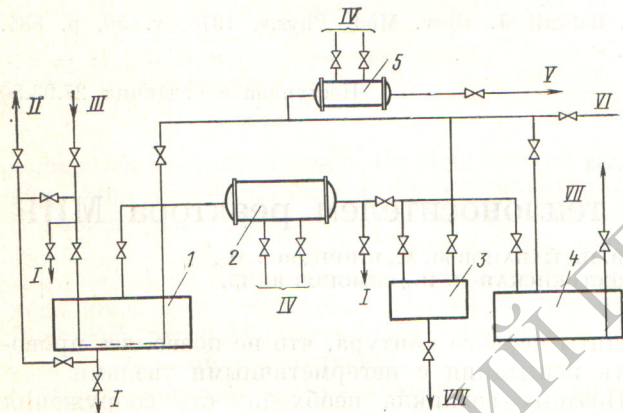
защиты первого контура, что не позволяет проводить испытания с негерметичными твэлами.

Поэтому возникла необходимость сооружения крупной петлевой установки мощностью в несколько сот киловатт для таких исследований. Петля с органическим теплоносителем была создана на базе оборудования и боксов натриевой петли реактора МИР [3], которая в значительной мере потеряла свою актуальность в связи с успешным освоением методик испытаний материалов и твэлов для быстрых реакторов в БОР-60 [4]. Такое решение позволило в короткие сроки и при минимальных капитальных затратах создать хорошие экспериментальные условия для необходимых реакторных испытаний по программе разработки реакторов с высокотемпературным органическим теплоносителем.

**Схема и параметры петли.** Схема петли ПО-1 (рис. 1) двухконтурная: теплоноситель первого контура — дитоллилметан (ДТМ), второго — воздух. Петля имеет системы вакуумирования, пожаротушения, контроля герметичности оболочек твэлов, электроразогрева петлевого контура, пробоотбора, дистилляционной очистки ДТМ. Последняя включает (рис. 2) баки для ступенчатого разогрева и испарения отработавшего теплоноси-



Р и с. 1. Схема петли ПО-1: I — петлевой канал; 2 — ввод ДТМ из установки дистилляции; 3 — теплообменник; 4 — воздушный контур; 5 — компенсатор объема; 6 — слив ДТМ в установку дистилляционной очистки; 7 — насосы; 8 — теплообменник фильтра; 9 — фильтр; 10 — фильтр механической очистки; 11 — опытная сборка; I — проба; II — вода; III — атмосфера



Р и с. 2. Схема установки для дистилляционной очистки ДТМ: I — бак ступенчатого разогрева и испарения отработавшего теплоносителя; 2 — конденсатор; 3 — бак-сборник низкокипящих продуктов разложения; 4 — бак-сборник очищенного ДТМ; 5 — ловушка паров на входе системы вакуумирования; I — проба; II — в транспортную емкость; III — из ПО-1; IV — вода; V — система вакуумирования; VI — азот; VII — в ПО-1; VIII — дренаж

теля, для сбора очищенного ДТМ и низкокипящих продуктов разложения, а также трубопроводы с арматурой.

Высокипящие продукты разложения теплоносителя удаляются после дистилляции из бака-испарителя в транспортную емкость или в бак длительного хранения. Основные параметры петли следующие: тепловая мощность до 400 кВт; расход ДТМ через канал 15—25 м<sup>3</sup>/ч; температура ДТМ на входе в канал 453—483 К; давление теплоносителя в канале (4—10)·10<sup>5</sup> Па; плотность потока тепловых нейтронов в канале 10<sup>14</sup> нейтр./(см<sup>2</sup>·с).

**Технические характеристики оборудования.** Канал петли ПО-1 выполнен по типу канала Фильда

с экспериментальным объемом 4,3 л. Для уменьшения потерь тепла от канала в воду бассейна реактора канал снабжен газовой теплоизолирующей полостью. Возможно вывести до 10 датчиков контроля режима облучения. В контуре петли используются бессальниковые герметичные насосы, применяемые на водяных петлях реактора. При перекачке ДТМ эти насосы обеспечивают перепад давления 8,5·10<sup>5</sup> Па при подаче 30 м<sup>3</sup>/ч. Полный объем компенсатора петли ПО-1 составляет 1,15 м<sup>3</sup>, а площадь свободной поверхности теплоносителя 0,6 м<sup>2</sup>.

Механический полнопоточный фильтр установлен перед входом ДТМ в канал и конструктивно выполнен в виде трубы, внутри которой находится фильтрующий элемент из металлической сетки. Вместимость баков установки дистилляционной очистки ДТМ рассчитана на полное опорожнение контура. Все теплообменное оборудование, бак-овое хозяйство, фильтр (используется в качестве дополнительной механической очистки), система трубопроводов, арматура, второй контур и вспомогательные системы входили ранее в состав натриевой петли и после промывки и соответствующей подготовки использованы для вновь созданной установки.

**Назначение петли.** На новой петлевой установке проводят различные реакторные эксперименты по отработке создаваемых твэлов, включая ресурсные и различные кратковременные их испытания, в частности при негерметичности оболочки.

Предусматривается широкое изучение технологии теплоносителя, влияния количества и состава различных примесей и продуктов радиационно-термического разложения теплоносителя на поведение материалов под действием излучения и на формирование поверхностных отложений на теплопередающих поверхностях. Предполагается также исследовать сравнительную эффективность различных способов очистки теплоносителя, в том числе очистку от радиоактивных загрязнений. В совокупности с работами, проводимыми на реакторе АРБУС, эти исследования позволят получить экспериментальные результаты, необходимые для обоснования проектных разработок.

После завершения пусконаладочных работ петли ПО-1 пущена в эксплуатацию в августе 1978 г. Результаты эксплуатации свидетельствуют о том, что технические характеристики петли соответствуют расчетам.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Цыканов В. А. и др. В кн.: Сборник докладов семинара «Перспективы использования ядерных реакторов для теплоснабжения городов и промышленных предприятий». Димитровград, 1978, с. 45.

2. Алексенко Ю. Н. и др. Там же, с. 24.  
3. Аверьянов П. Г. и др. Препринт НИИАР П-121. Мелекес, 1971.

4. Казачковский О. Д. и др. «Атомная энергия», 1975, т. 38, вып. 3, с. 131.

Поступила в Редакцию 25.01.80

УДК 536.242

## Расчет гидравлического сопротивления пучков стержней с решетками-интенсификаторами теплообмена

ИВАНОВ В. К., КОБЗАРЬ Л. Л.

В ИАЭ им. Курчатова проведены экспериментальные исследования гидравлических характеристик полномасштабных моделей ТВС с различными типами решеток-интенсификаторов теплообмена. Цель экспериментов — найти оптимальный тип интенсификаторов, который обеспечил бы значительное повышение мощности ТВС при увеличении гидравлического сопротивления в допустимых пределах, при хорошей технологичности, надежности конструкции и небольшом дополнительном внесении металла [1].

В настоящей работе анализируются опытные данные. Рассматривается возможность применения для расчета гидравлического сопротивления канала реактора типа РБМК методик, используемых для пучков с обычными дистанционирующими решетками, и возможность расчета коэффициента гидравлического сопротивления решеток-интенсификаторов на основании их геометрических характеристик. Была использована методика работы [2]. Описание экспериментального оборудования и опытные данные о гидравлическом сопротивлении исследованных моделей приведены в работе [1].

Разные типы решеток-интенсификаторов исследовались на полномасштабных моделях ТВС, состоящей из 18 трубок диаметром 1,35 см и центрального необогреваемого стержня диаметром 1,5 см (рис. 1). Верхняя часть моделей (обогреваемая длина 7 м) содержала решетки-интенсификаторы, а нижняя часть снабжена штатными дистанционирующими решетками РБМК-1000. Модели были установлены в канал диаметром 8 см.

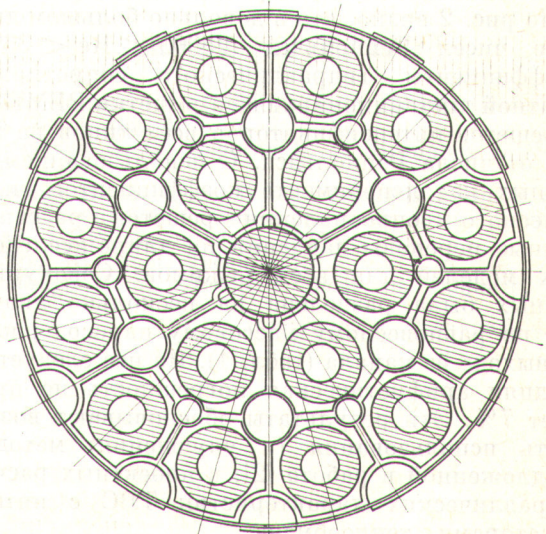
Исследовано шесть типов решеток-интенсификаторов. Эти типы, кроме первого, создавались на базе штатной дистанционирующей решетки РБМК-1000 (см. рис. 1). Решетки-интенсификаторы первого типа, значительно отличающиеся от всех остальных, представляют собой соединенные отрезки скрученных лент, которые занимают все пространство вокруг твэлов [3]. Расстояние между решетками 20,6 см.

Решетки второго типа имеют на внешнем ободе и на внутренних элементах лепестки, образуемые путем локальных надрезов и отгибов. Возможны два вида таких решеток: с дистанционированием либо всех твэлов (полная решетка), либо только

шести твэлов (неполная решетка). Расстояние между полными решетками 36 см, а расположенные между ними две неполные решетки находились одна от другой на расстоянии 12 см. В решетках третьего типа повторяются все особенности решеток второго типа, но отгибы на ободе и внутренних элементах заменены у них выштампованными выступами.

В решетках четвертого и пятого типов использован внешний обод решетки третьего типа, а в местах решеток, соответствующих квадратным ячейкам пучка, установлены шнеки. Угол закрутки шнеков в этих решетках равен соответственно 3,14 и 2,705 рад. Расстояние между решетками 48 см. Модель с решетками шестого типа аналогична модели с решетками третьего типа, но между двумя полными решетками, расположенными на расстоянии 36 см одна от другой, устанавливалась всего одна неполная решетка.

Эксперименты проводили при давлении на выходе из канала 6—8,5 МПа, массовой скорости 1000—4000 кг/(м<sup>2</sup>·с), мощности тепловыделения до 6 МВт, плотности теплового потока до 1,2 МВт/м<sup>2</sup>, относительной энтальпии на выходе из канала до 0,8. Распределение давления по длине канала измеряли в трех режимах тепло-



Р и с. 1. Поперечное сечение модели ТВС РБМК-1000