

ТЕПЛОФИЗИКА РЕАКТОРА ВВР-М

Г.А. Кирсанов



Кирсанов Геннадий Антонович – заведующий группой реакторной теплофизики, кандидат технических наук

Производительность исследовательского реактора можно характеризовать числом событий, произошедших в научной аппаратуре или в облучаемых устройствах. Она в значительной степени определяется возможностями теплоотвода от твэлов и от реактора в целом. Изучение этих возможностей и путей их улучшения являлось главной задачей сначала теплофизической группы, затем лаборатории реакторной теплофизики, которая организовалась из нескольких сотрудников группы, выполнявшей испытания термоэмиссионных преобразователей на петле низкого давления (ПНД) реактора ВВР-М (см. заметку о ПНД). Процессы теплоотдачи от реакторных устройств определяются гидродинамикой течения воды, следовательно, к теплофизическим задачам прибавляются задачи гидродинамические, решение которых позволяет получить необходимые исходные данные.

Первая по времени решения задача теплофизиков заключалась в том, чтобы определить, как распределяется расход воды первого контура реактора ВВР-М между твэльным пространством активной зоны и бериллиевым отражателем. Сделанные разными людьми оценки значительно различались между собой, что вносило недопустимо большую погрешность в расчёты охлаждения твэлов и, следовательно, в расчёты максимально-допустимой мощности реактора. Для проведения измерений была выполнена довольно сложная работа: из активной зоны были выгружены все тепловыделяющие сборки (ТВС), и на их место поставлена специально изготовленная пробка. Это позволило измерить гидравлическую характеристику отражателя, а затем и гидравлическую характеристику активной зоны и получить необходимые данные для теплофизических расчётов реактора [1].

Возможности увеличения мощности реактора за счёт увеличения потока воды через твэлы изучались на специальном гидравлическом стенде, представлявшем

собой уменьшенную копию реактора с моделью активной зоны из 37 макетов ТВС. Модель бака реактора была установлена в главном зале напротив тепловой колонны, огромный насос размещался в специальном домике на улице рядом с главным залом, трубы проходили через окно. На этом стенде были измерены гидравлические характеристики решёток реактора, ТВС и их концевых деталей, в результате чего были даны рекомендации по улучшению конструкции головок ТВС. Результаты исследований позволили создать методику теплогидравлического расчёта активной зоны для произвольной загрузки её ТВС и облучаемыми устройствами, а также привели к пониманию того факта, что повышение удельной мощности в активной зоне реактора невозможно без изменения конструкции ТВС.

В качестве новой конструкции ТВС был выбран оптимальный для реактора ВВР-М вариант – шеститрубная ТВС с центральным прутковым твэлом, в 1,77 раза превышающая сборку старой конструкции по площади теплопередающей поверхности. В результате была создана уникальная ТВС, превосходящая по своим теплогидравлическим качествам известные зарубежные аналоги [2, 3].

На гидравлическом стенде были измерены гидравлические характеристики всех разновидностей ТВС (ВВР-М2, ВВР-М3, ВВР-М5), что позволило создать методику теплогидравлического расчёта активной зоны реактора при загрузке в неё сборок разных типов.

Для экспериментального подтверждения расчётной методики ТВС прежнего и нового типов были оснащены в ГДР (на реакторе ВВР-С в г. Россендорфе) микротермопарами, позволявшими измерять температуру поверхности твэлов в активной зоне реактора при работе его на номинальной мощности. Микротермопары зачеканивались в плакирующую оболочку твэлов таким образом, что их наличие не влияло на гидравлику течения воды в каналах ТВС. Оснащенные термопарами ТВС загружались в наиболее горячие места активной зоны реактора. При проведении измерений менялась мощность реактора, а в некоторых случаях – и расход воды в первом контуре. Почти во всех измерениях было получено совпадение расчётных и измеренных значений температуры оболочки твэлов с точностью до определения энерговыделения в оснащённой термопарами ТВС [4]. Эти измерения позволили добавить блок теплофизического расчёта к программе нейтронно-физического расчёта НЕХА-БАНК и создать программу, которая используется до настоящего времени для оперативных расчётов загрузок активной зоны и допустимых значений мощности реактора.

В единичных случаях измеренные значения температур оболочек твэлов существенно превышали расчётные значения, и это отличие не могло быть объяснено погрешностью расчёта энерговыделения в ТВС. Это обстоятельство инициировало измерение зазоров в активной зоне с помощью очень чувствительного самодельного прибора, который позволял измерять зазоры между наружным шестигранным твэлом ТВС ВВР-М5 и любым соседним с ним устройством. Были обнаружены места, где зазоры между ТВС и отражателем существенно отличались от номинальных, по-видимому из-за особенностей монтажа бериллиевых блоков отражателя. Это обстоятельство стало учитываться при загрузках активной зоны реактора.

Температурные измерения показали, что возможности увеличения мощности реактора за счёт повышения температуры твэлов сопряжены с появлением пристеночного кипения на твэлах, что, по имеющимся в то время сведениям, могло привести к быстрому коррозионному повреждению оболочек твэлов. Изучили эту опасность на коррозионном стенде, где моделировалось интенсивное пристеночное кипение на фольгах, изготовленных из материала оболочек твэлов (алюминиевый сплав САВ-1) при параметрах потока и качества воды, аналогичных реакторным. Было обнаружено, что пристеночное кипение не представляет опасности для твэлов реактора ВВР-М из-за сравнительно малого времени их работы в реакторе в таком режиме [5].

На гидравлическом стенде были проведены уникальные эксперименты по измерению предельных тепловых нагрузок на твэлы реактора ВВР-М с пережогом макета твэла вследствие неустойчивости течения воды в параллельных каналах твэлов при появлении пристеночного кипения. Это позволило определить физический предел тепловой нагрузки твэлов реактора ВВР-М, который в 1,5 раза превышает тепловую нагрузку самого горячего твэла при работе реактора на максимально допустимой мощности [6].

На электронагреваемых макетах твэлов были выполнены измерения температуры твэлов ТВС ВВР-М5 на воздухе в зависимости от мощности энерговыделения и создана методика расчёта температуры твэлов в зависимости от мощности остаточного энерговыделения при извлечении отработавших ТВС из бака реактора или хранилища на воздух при осмотрах или при перегрузочных работах. На этих же макетах были проведены подобные измерения при размещении ТВС в перегрузочном контейнере СБ-12, и также создана соответствующая методика расчёта [7].

Измерения прогибов шестигранных твэлов ТВС ВВР-М3 и ВВР-М5 в зависимости от разности температур противоположных граней позволили получить эмпирические зависимости для стрелы прогиба твэлов и учесть их в программе теплофизического расчёта активной зоны.

Был предложен и опробован метод статистических расчётов предельно допустимой мощности реакторов ВВР-М и ПИК, учитывающий погрешности измерения и автоматические аварийные ограничения технологических параметров, а также погрешности используемых расчётных формул. Этот метод следует считать перспективным при условии приобретения новейшей вычислительной техники [8].

Результаты огромной расчётной и экспериментальной работы по изучению естественноконвективного расхолаживания твэлов с наложением встречной циркуляции в активной зоне реактора ВВР-М при исчезновении электропитания включены в техническое обоснование безопасности реактора.

Последней крупной работой, проведенной на реакторе, является изучение гидравлических характеристик первого контура. Эта работа позволила получить полную информацию, необходимую для выбора насосов и выполнения расчётов, связанных с гидравликой первого контура [9].

Это только перечень основных исследований по теме ВВР-М, выполненных лабораторией реакторной теплофизики. Сюда нужно добавить бесчисленные

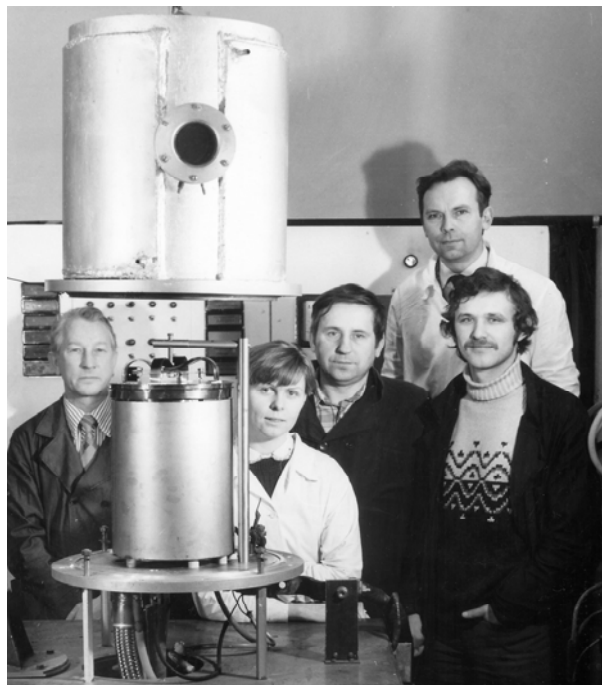
оценки и расчёты температур в облучаемых устройствах и в элементах конструкций реактора, участие в испытаниях новых твэлов прутковой конструкции в водяной петле и в активной зоне и расчёты возможности их использования в качестве альтернативных твэлов. В обязанности лаборатории входит также изучение теплофизических и гидравлических проблем, связанных с созданием реактора ПИК и источника горячих нейтронов (ИГН) для этого реактора, но это уже тема другой статьи.



В теплофизическую лабораторию пришло молодое пополнение, 1981 г.
Стоят (слева направо): М.В. Федотов, А. Крупенченков, А. Шестаков, С. Нагаев.
Сидят: В. Наумчик, Н. Грошева, Г.А. Кирсанов, Ж.А. Шишкина

Состав и численность лаборатории менялись от максимального количества – 14 человек до минимального в настоящее время – 5 человек, но ее руководителем всегда был автор этих строк. Особо нужно отметить двух научных сотрудниц, сохранивших верность теплофизическим исследованиям наших реакторов – это основной «компьютер» лаборатории Жанна Александровна Шишкина, обрабатывавшая результаты практически всех экспериментальных измерений, и Наталья Анатольевна Грошева, участвовавшая в проведении большинства экспериментов. С их участием выполнены основные расчётные и экспериментальные работы. Неоценимую помощь в создании лабораторных установок оказали наши механики, ставшие впоследствии инженерами, Август Николаевич Сясин и Александр Николаевич Губинский. Большой благодарности заслуживают работы Сергея Викторовича Нагаева, особенно в области создания ИГН, и механика Михаила Васильевича Федотова. Постоянный интерес к работе, творческое участие, практические советы и помощь административного и научного

руководителя Кира Александровича Коноплёва всегда оказывали большое влияние на результативность работы этого коллектива.



Слева направо: А.Н. Сясин, Н.А. Грошева, М.В. Федотов, Г.А. Кирсанов, С.В. Нагаев

Литература

1. Г.А. Кирсанов, К.А. Коноплёв, Р.Г. Пикулик, Ж.А. Шишкина. Гидравлика активной зоны реактора ВВР-М. *Атомная энергия* **39(5)**. 1975. С. 320–323.
2. А.Н. Ерыкалов, В.С. Звёздкин, Г.А. Кирсанов, К.А. Коноплёв, В.С. Львов, Ю.В. Петров, А.П. Рузманов. Тонкостенные твэлы ВВР-М5 для исследовательских реакторов. *Атомная энергия* **60(2)**. 1986. С. 103–106.
3. A.A. Enin, A.N. Erykalov, G.F. Kirsanov, K.A. Konoplev, V.S. L'vov, Yu.V. Petrov, Yu.P. Saikov, A.S. Zakharov, V.S. Zvezdkin. Design and experience of HEU and LEU fuel for WWR-M reactor. *Nuclear Engineering and Design* **182**. 1998. P. 233–240.
4. Н.А. Грошева, И.Э. Исакас, Г.А. Кирсанов, К.А. Коноплёв, С.В. Нагаев, Р.Г. Пикулик, А.Н. Сясин, А. Финдайзен, Т.А. Чернова, Ж.А. Шишкина. Измерение температуры оболочек твэлов тепловыделяющих сборок типов ВВР-М2, М3 и М5 в активной зоне реактора ВВР-М. Сборник «Методические и прикладные работы ЛИЯФ». Ленинград. 1988. С. 125–127.
5. Г.А. Кирсанов, К.А. Коноплёв, Р.Г. Пикулик. Коррозия твэла ВВР-М в условиях пристеночного кипения. *Атомная энергия* **38(2)**. 1975. С. 98–100.

6. Г.А. Кирсанов, К.А. Коноплёв, Ж.А. Шишкина. К определению критических тепловых нагрузок и коэффициентов запаса до кризиса в исследовательских реакторах бассейнового типа. Атомная энергия **61(1)**. 1986. С. 41–42.
7. Н.А. Грошева, Г.А. Кирсанов, К.А. Коноплёв, Ж.А. Шишкина. Экспериментальное исследование тепловыделяющей сборки ВВР-М5 на воздухе. Вестник Академии наук БССР. Серия: физико-энергетическая. Минск. **3**. 1990. С. 68–72.
8. Н.А. Грошева, Г.А. Кирсанов, К.А. Коноплёв, Д.В. Чмшкян. Статистический метод расчёта максимально-допустимой мощности реактора ВВР-М. Препринт ПИЯФ–2228. Гатчина. 1998. 23 с.
9. Г.А. Кирсанов, К.А. Коноплёв, Р.Г. Пикулик, Ж.А. Шишкина, Н.А. Грошева, А.Н. Губинский. Гидравлика первого контура реактора ВВР-М. Препринт ПИЯФ–2707. Гатчина. 2007. 17 с.