

Персоны



Смольский Сергей Лаврович

Заместитель директора по эксплуатации ядерных установок
НИЦ «Курчатовский институт» ФГБУ «ПИАФ»



Коноплев Кир Александрович

Главный научный сотрудник, чл.-корр. АИН РФ



Серебров Анатолий Павлович

Заведующий отделом нейтронной физики, профессор

Контакты



Мащетов Владимир Петрович

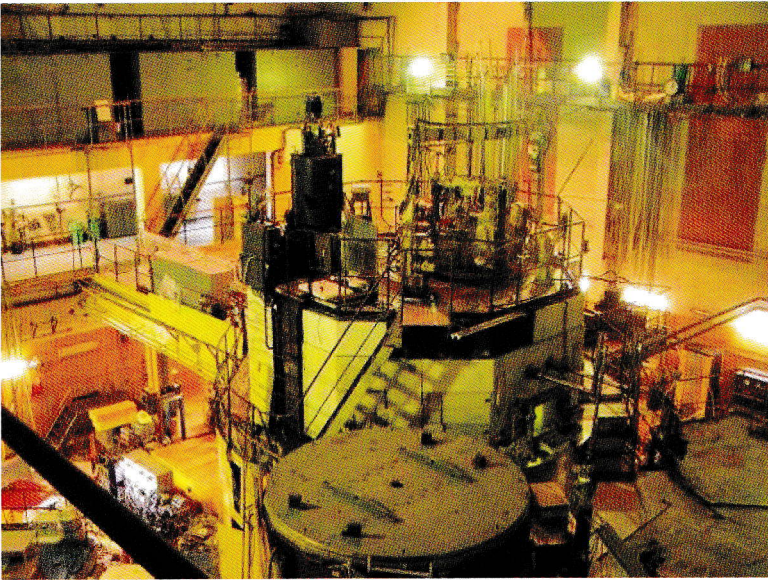
Главный инженер реактора ПИК

Тел.: +7(813)713-09-21;

E-mail: maschetov@pnpi.spb.ru

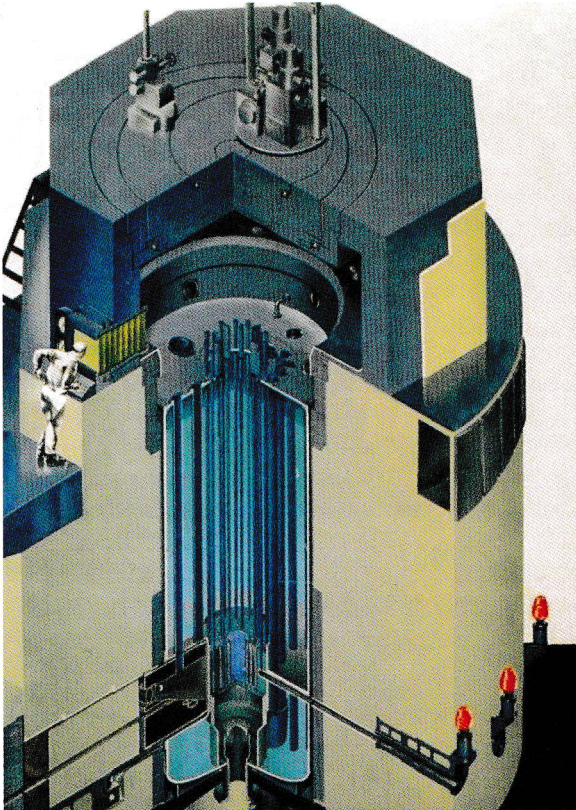
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ РЕАКТОР ВВР-М

Исследовательский ядерный реактор ВВР-М — бассейновый водо-водяной реактор с отражателем из металлического бериллия, предназначенный для проведения физических исследований. Физический пуск реактора ВВР-М состоялся 29.12.1959 г., энергетический — 25.06.1960 г.

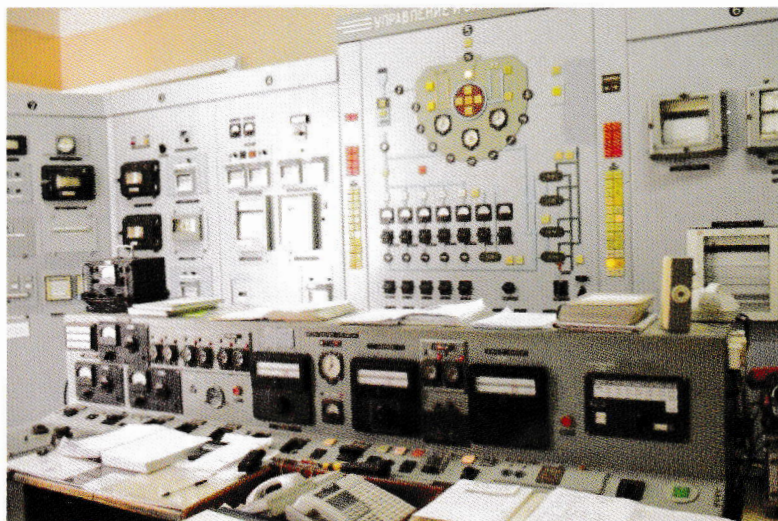


Главный зал реактора ВВР-М

Сооружение реактора ВВР-М диктовалось необходимостью создания в Северо-Западном регионе СССР научно-экспериментальной базы с целью решения широкого круга задач с использованием реакторного излучения.



Вертикальный разрез реактора ВВР-М



Пульт реактора ВВР-М

Важные отличительные черты реактора ВВР-М — это простота в эксплуатации, удобная конструкция собственно реактора, позволяющая выполнять уникальные работы. Реактор предназначен для проведения научно-исследовательских работ:

- по ядерной физике;
- по физике элементарных частиц;
- по физике конденсированного состояния;
- по радиационному материаловедению;
- по радиобиологии;
- по другим смежным областям, а также наработке различных радионуклидов для медицинских целей и промышленного применения.

Специфика реактора ВВР-М

ВВР-М представляет собой бассейновый реактор с открытым зеркалом воды.

Активная зона расположена в баке под слоем воды 4 м, имеет исходную форму шестигранника с диаметром вписанной окружности 576 мм, высотой 500 мм и формируется из шестигранных ТВС. Бак реактора выполнен в виде цилиндрического сосуда с днищем и крышкой. Высота бака — 5645 мм, наружный диаметр — 2300 мм, материал бака — алюминиевый сплав САВ-1. Толщина цилиндрической части бака — 16 мм, днища — 20 мм. Активная зона формируется на опорной решетке толщиной 40 мм. Количество ячеек в опорной решетке — 271 шт., из них: под каналы со стержнями СУЗ — 9 шт., под экспериментальные устройства — до 130 шт., остальные — под ТВС. Отражатель формирует шестигранную конфигурацию активной зоны, пронизан 269 вертикальными отверстиями диаметром 6 мм для прохода теплоносителя.

С целью контроля процесса загрузки блок-контейнеров с образцами на облучение в вертикальные каналы, а также осмотра внешних поверхностей ампул, извлекаемых из активной зоны, экспериментальных устройств, ТВС надреакторная камера оборудована смотровым окном и двумя манипуляторами.

Основные технические характеристики ВВР-М

Мощность (тепловая), МВт	18
Теплоноситель	легкая вода

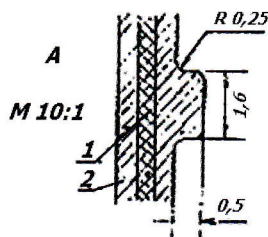
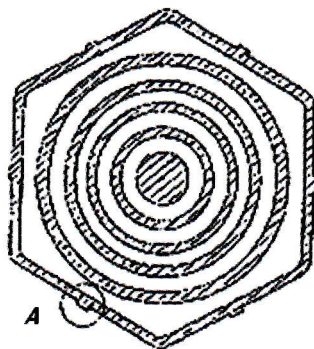
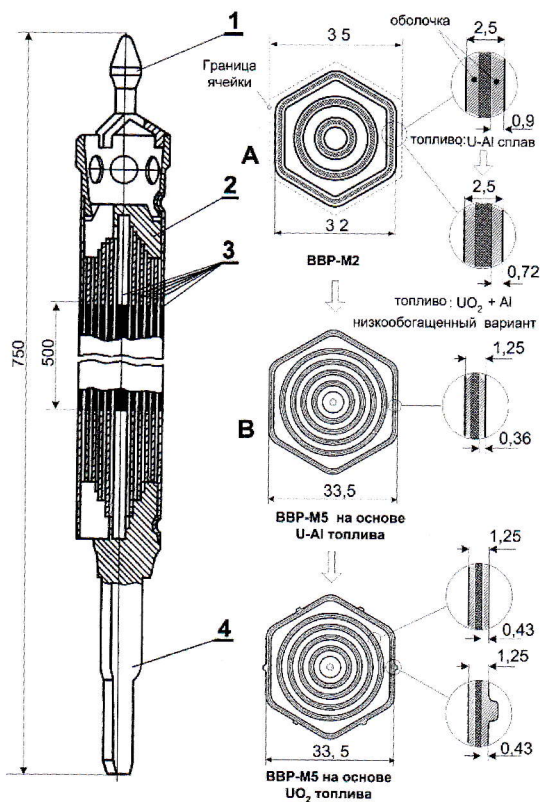
Замедлитель	легкая вода
Отражатель	металлический бериллий
Максимальное рабочее давление теплоносителя в I-м контуре, МПа	0,4
Расход теплоносителя в I-м контуре, м ³ /ч	1465
Скорость потока теплоносителя в активной зоне, м/с	4,0
Максимальная температура теплоносителя на выходе из активной зоны, °С	62
Максимальное рабочее давление теплоносителя, МПа	0,6
Расход теплоносителя во II-м контуре, м ³ /ч	1450
Обогащение топлива по ²³⁵ U, %	90
Выгорание топлива по ²³⁵ U, %:	
— среднее	65
— максимальное	75
Энергонапряженность активной зоны, кВт/л:	
— средняя	250
— максимальная	900
Максимальная плотность теплового потока на поверхности твэла, кВт/м ²	1210
Максимальная плотность потока нейтронов, см ⁻² ·с ⁻¹ :	
— тепловых	4,5·10 ¹⁴
— быстрых	2,7·10 ¹⁴
Число тепловыделяющих сборок ТВС	до 185 в одиночном исчислении
Число органов аварийной защиты (АЗ)	2
Число органов регулирования (РО)	7
Число экспериментальных петель	3
Число экспериментальных каналов:	
— горизонтальных	17
— вертикальных в отражателе	13
— вертикальных в активной зоне	до 6

Активная зона ВВР-М

Активная зона реактора ВВР-М набирается из ТВС типов ВВР-М2, ВВР-М5 и ВВР-М7.

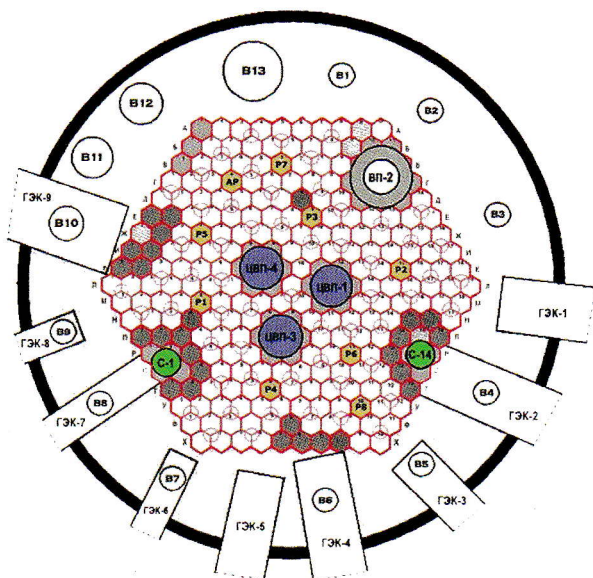
Основные характеристики ТВС типа ВВР-М

Тип ТВС	ВВР-М2	ВВР-М5
Площадь ячейки, см ²	10,609	10,609
Высота активной части ТВС, см	50	50
Толщина покрытия, мм	0,9	0,43
Толщина топливного слоя, мм	0,7	0,39
Доля объема, занятого водой	0,542	0,571
Обогащение, %	36	90
Толщина трубок твэла, мм	2,5	1,25
Поверхность теплообмена в единице объема активной части, см ² /см ³	3,55	6,6
Концентрация ²³⁵ U, г/л	62,4	125



Сечение ТВС типа ВВР-М7 с оребренным твэлом: 1 — топливо; 2 — оболочка

ТВС реактора ВВР-М: 1 — головка; 2 — венчик; 3 — твэлы; 4 — ножка

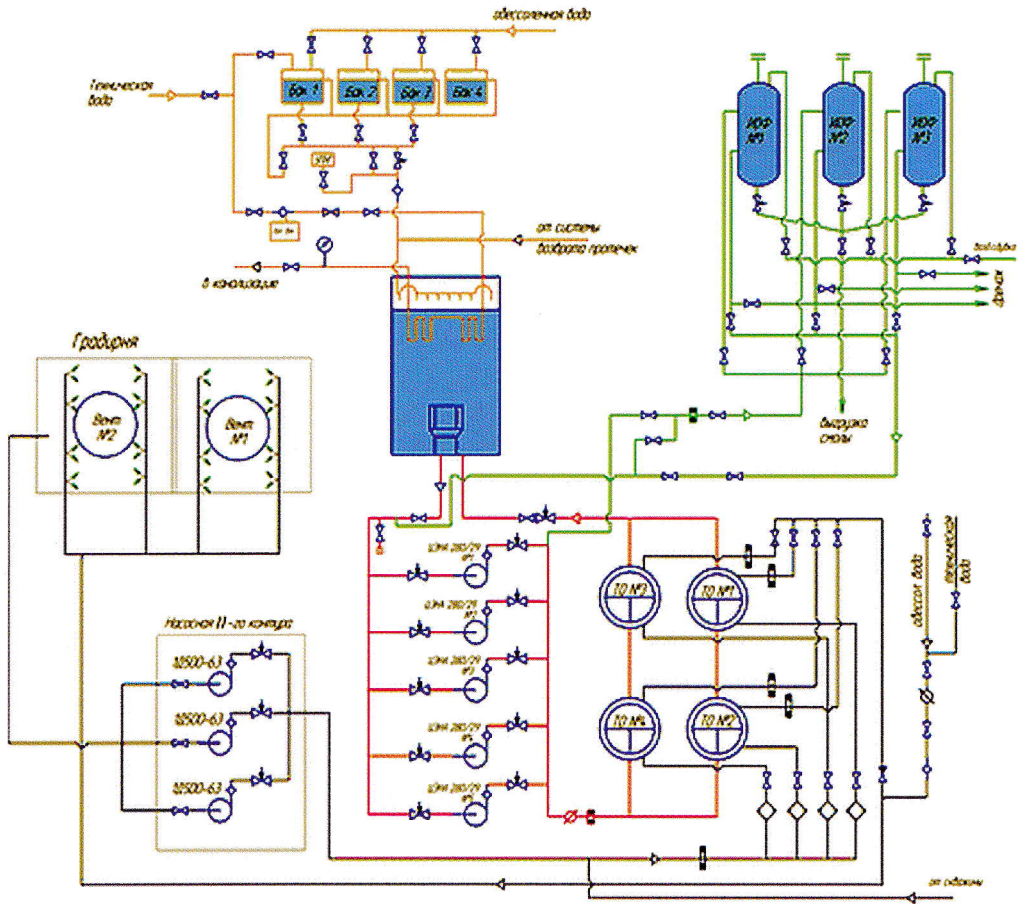


- серийные одиночные ТВС
- ампулы для облучений в зоне
- серийные тройные ТВС
- 12-ячеечная водная полость для облучения экспериментальных устройств
- 4-ячеечные водные полости (Мо-каналы)
- 7-ячеечные центральные водные полости
- бериллиевые вытеснители
- регулирующие стержни
- свинцовые вытеснители

Картограмма активной зоны реактора ВВР-М

Охлаждение активной зоны

Схема охлаждения реактора ВВР-М — двухконтурная.



-  — датчик давления
-  — задвижка-вентиль
-  — задвижка с электроприводом
-  — обратный клапан
-  — расходомерная шайба
-  — манометр
-  — механический фильтр
-  — дроссель регулирующий

Схема принципиальная охлаждения активной зоны реактора ВВР-М

При нормальных условиях эксплуатации принудительная циркуляция теплоносителя в I-м контуре осуществляется посредством главных циркуляционных насосов (ГЦН) — всего 5 единиц.

Отвод тепла от воды I-го контура осуществляется водой II-го контура непосредственно в теплообменниках (4 единицы). Принудительная циркуляция воды во II-м контуре осуществляется посредством циркуляционных насосов — всего 3 единицы.

Охлаждение воды II-го контура производится на двухсекционной вентиляторной градирне.

В случае полного исчезновения внешнего энергоснабжения охлаждение активной зоны осуществляется одним ГЦНом, запитанным от агрегата бесперебойного питания потребителей особой группы реактора; вода на теплообменники по II-му контуру поступает от аварийного бака водонапорной башни, расположенной на технологической площадке института.

Реактор также оснащен системой аварийного охлаждения активной зоны.

Система состоит из 4-х баков резервного дистиллята (в баки предусмотрена подача технической воды), трубопровода от баков резервного дистиллята к баку реактора, системы сбора протечек из оборудования и трубопроводов I-го контура и трубопровода возврата протечек в бак реактора посредством насоса производительностью до 25 м³/ч и душирующего устройства, обеспечивающего орошение активной зоны по всей площади.

Душирующее устройство представляет из себя кольцевой коллектор, установленный под крышкой реактора, с 12 равномерно расположенными по длине окружности коллектора отводами (рожками). В системе сбора и возврата протечек установлены два насоса; один насос запитан от агрегата бесперебойного питания.

Экспериментальные возможности

Реактор ВВР-М оборудован 16 горизонтальными экспериментальными каналами (ГЭК) диаметром 60 и 100 мм для вывода нейтронов на экспериментальные установки, размещенные в реакторном зале в секторах ГЭКов, и 10 вертикальными каналами диаметром 40 и 60 мм, размещенными в Ве-отражателе.

Облучение образцов материалов осуществляется в специальных водо- и газоохлаждаемых ампулах диаметром 35 мм, устанавливаемых непосредственно в шестигранные ячейки активной зоны вместо извлеченных ТВС. Ампулы могут размещаться в каналах водных полостей (облучательных устройств).

Стандартные облучательные устройства занимают 4, 7 или 12 ячеек с различными объемами полостей. Максимальный диаметр облучаемых образцов сейчас составляет 50 мм (при необходимости может быть увеличен).

Бесчехловая ТВС ВВР-М5 состоит из 4 тонкостенных твэлов трубчатого типа, одного стержневого твэла и наружного твэла шестигранной формы. Каналы с поглощающими стержнями СУЗ могут перемещаться и устанавливаться в любую ячейку активной зоны. Конструкция зоны позволяет размещать нестандартные устройства больших объемов. Число ТВС в активной зоне изменяется в пределах 130–200 единиц в одиночном исчислении (для удобства перегрузок используются трехсекционные и односекционные ТВС). Имеется опыт с большими нестандартными облучательными устройствами (до 91 ячеек). Шаг ТВС — 35 мм. Среднее удельное энерговыделение в объеме активной зоны — до 250 кВт/л, максимальное — до 900 кВт/л.

При мощности 18 МВт максимальная плотность потока тепловых нейтронов в ловушках — $4,5 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$, а максимальная плотность потока быстрых нейтронов ($E \geq 0,8 \text{ МэВ}$) составляет $2,7 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$. Параметры реактора позволяют создавать линейную мощность при облучении топливных образцов до 600 Вт/см в ампулах (ограничивается конструкцией твэлов и теплопроводностью топливных таблеток).

В водные полости, как правило, устанавливается вставка из поглощающего либо замедляющего нейтроны материала (для формирования спектра нейтронов определенной энергии) и вертикальные каналы для обеспечения загрузки (выгрузки) облучаемых образцов (ампул, блок-контейнеров).

Для проведения исследований реактор оснащен вертикальным каналом диаметром 250 мм, расположенным в биологической защите реактора. В одном из вертикальных каналов в Ве-отражателе размещен канал водяной петли (ПВ), в другом — канал для ис-

следования свойств высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП) — установка «Низкотемпературная петля ВТПС».

Петля водяная (ПВ)

ПВ предназначена для реакторных испытаний экспериментальных ТВС.

Рабочие параметры петли:

- объем канала — 0,2 м³;
- объем воды в подпиточном бачке (бачок снабжен сигнализацией верхнего и нижнего уровней воды) — 0,35 м³;
- расход воды в петле — (10–12) м³/ч;
- давление в петле ПВ при работающем насосе — (0,30–0,35) МПа;
- температура воды на входе петли — до 65 °С, на выходе — до 73 °С.

Установка «Низкотемпературная петля ВТСП»

Установка предназначена для исследования электрических и магнитных свойств высокотемпературных сверхпроводников в процессе их облучения нейтронами при температурах 20–300 К.

Состав установки:

- низкотемпературный канал;
- криогенная система, обеспечивающая получение «холодного» (20 К) либо «теплого» (300 К) гелия при давлении 0,15 МПа, и продувку гелия по замкнутому контуру для охлаждения исследуемых образцов;
- вакуумная система, обеспечивающая создание, поддержание и измерение вакуума в рубашке контура продувки гелия, служащей для теплоизоляции;
- измерительная система (автоматизированные измерения параметров исследуемых материалов в процессе облучения, а также температурного режима канала).

Установка для наработки радионуклида ¹²⁵J по экспресс-технологии

Схема установки включает в себя:

- облучательное устройство;
- ксеноновый контур;
- контур гелиевого охлаждения;
- элементы радиационной защиты;
- форвакуумный пост;
- газовый пост;
- систему контроля и управления.

Технологические параметры:

- производительность установки — не менее 500 Ки/год;
- радионуклидная чистота продукта — не хуже 99,995%;
- содержание примесных радионуклидов:
 - ¹²⁶J — не более 0,005%;
 - ¹³⁴Cs — не более 0,001%.

Экспериментальные каналы

1. Горизонтальные экспериментальные каналы

Предназначены для вывода нейтронов из активной зоны на экспериментальные установки, размещаемые в реакторном зале (6 радиальных каналов диаметром 100 мм и 3 канала диаметром 60 мм). Имеются также касательные каналы и один сквозной канал, проходя-

щий через биологическую защиту. Максимальная плотность потока нейтронов в каналах — $1,4 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$.

Расположение научных станций на экспериментальных каналах указано ниже.

Канал № 1 — 48-счетчиковый порошокый дифрактометр (PD), установка для исследования ядерной материи (FFCG); канал № 2 — дифрактометр (NGRAV); канал № 3 — рефлектометр поляризованных нейтронов «Реверанс» (RvPN); канал № 4 — малоугловой дифрактометр поляризованных нейтронов «Вектор» (SAPNS); канал № 5 — малоугловой дифрактометр «Membrana» (SANS); канал № 6 — дифрактометр поляризованных нейтронов (DPN); канал № 7 — установка для исследований процесса деления ядра (FFCN); канал № 8 — комплекс приборов по нейтрон-активационному анализу (PROGRAS); канал № 9 — секционный суперпозиционный порошокый дифрактометр (SSPD), четырехкружный дифрактометр (SCD); канал № 11 — установка малоуглового рассеяния нейтронов (MNSE); канал № 12 — спин-эхо малоугловой спектрометр (SESANS); канал № 13 — рефлектометр (NR-4M); канал № 13a — рефлектометр поляризованных нейтронов (TestRef); канал № 14 — нейтронный поляриметр (VAP-3D); вертикальный канал В-13 — низкотемпературный канал (LTC).

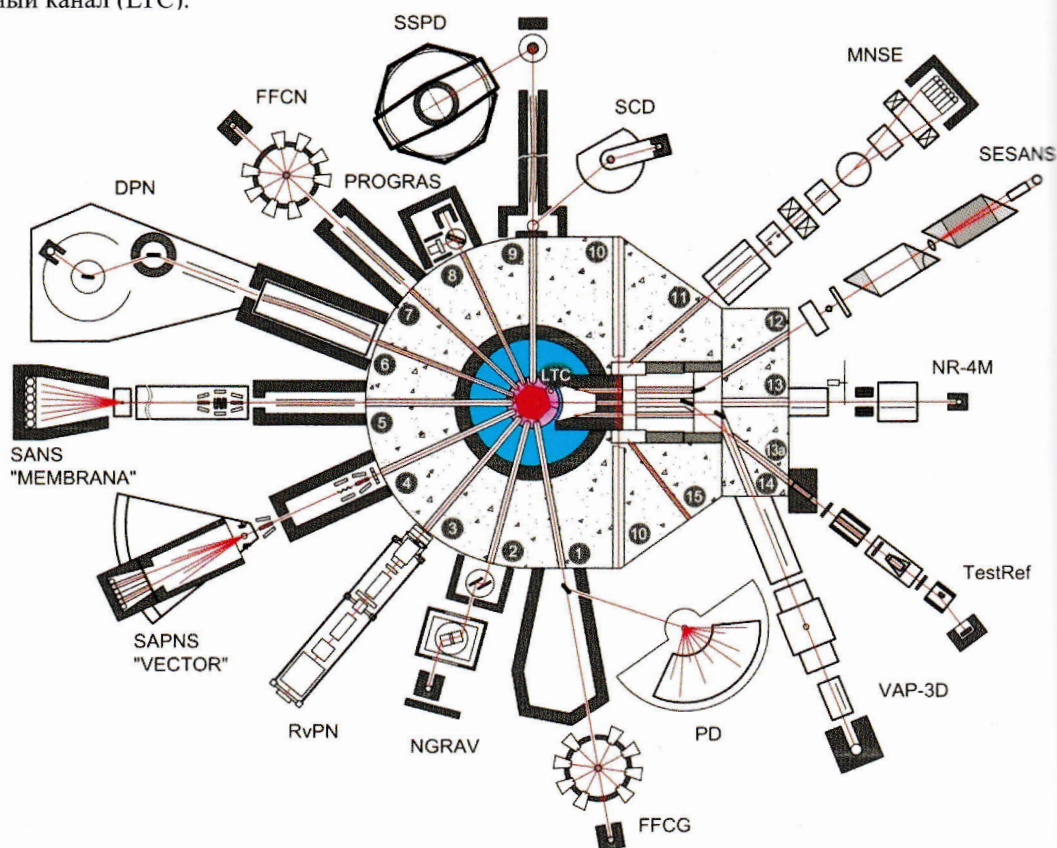


Схема расположение научных экспериментальных установок на реакторе ВВР-М

2. Вертикальные экспериментальные каналы

Предназначены для облучения различных образцов. Девять каналов имеют диаметр 40 мм, один — 60 мм, оканчиваются в Ве-отражателе на уровне активной зоны; часть ка-

налов расположена за Ве-отражателем. Максимальная плотность потока нейтронов в каналах — $4,0 \cdot 10^{14}$ см⁻²·с⁻¹.

Для проведения биологических исследований реактор оснащен вертикальным каналом диаметром 250 мм, расположенным в биологической защите реактора.

В активную зону реактора могут устанавливаться до 6-ти водных полостей размером от 7 до 19 ячеек в зависимости от требований проведения физического эксперимента или программы облучения.

В водные полости, как правило, устанавливается вставка из поглощающего либо замедляющего нейтроны материала (формирование спектра нейтронов определенной энергии) и вертикальные каналы с целью обеспечения загрузки (выгрузки) облучательных устройств.

Наиболее значимые работы

За время эксплуатации реактора ВВР-М выполнено огромное количество фундаментальных и прикладных исследований в области ядерной физики, физики конденсированного состояния, нейтронных методов исследования вещества, радиационного материаловедения, радиобиологии, производилась наработка радионуклидов для медицинских целей и т. д. О результатах можно прочесть, например, в книге: «Реактору ВВР-М — 50 лет. Сборник воспоминаний и научных статей». Сайт: <http://nrd.pnpi.spb.ru/wwwm50/>

Основные достижения

1974 г. Ленинская премия за цикл работ по экспериментальному обнаружению и исследованию несохранения пространственной четности в ядерных электромагнитных переходах (совместно с Институтом теоретической и экспериментальной физики, г. Москва).

1986 г. Государственная премия СССР.

1988 г. Открытие явления вращения плоскости и поляризации жестких гамма-квантов. Диплом на открытие № 360.

2000 г. Государственная премия РФ за разработку и реализацию новых методов структурной нейтронографии по времени пролета с использованием импульсных и стационарных реакторов.

Перспективы использования реактора

Планируется дальнейшая эксплуатация реактора для проведения научно-исследовательских работ и наработке различных радионуклидов до момента энергопуска и освоения мегаваттных мощностей на реакторе ПИК института.

Международное сотрудничество

Благодаря своему научному потенциалу ПИЯФ выступает равноправным партнером в международных коллаборациях практически по всем направлениям своей деятельности с крупнейшими центрами Европы и Америки.

История

Проектирование и сооружение реактора осуществлялось в 1955–1959 гг. на основании Постановления СМ СССР от 18.08.1954 г. № 1734-785 по нормам и правилам, действовавшим в то время, с учетом спецификации объектов атомной энергетики и обеспечением соответствующего качества, включая реализацию свойств внутренней самозащищенности реактора.

Ресурс (срок службы) реактора проектной документацией установлен не был.

Одновременно по законченным этапам проектирования велось строительство зданий, сооружений, изготовление и монтаж систем, элементов, оборудования, трубопроводов на

основании технических условий, технологических процессов и производственных инструкций, разрабатываемых проектантами и другими специализированными организациями с учетом действующих на момент изготовления и монтажа ГОСТов, ОСТов и других нормативных документов.

В процессе проектирования, строительства и первых лет эксплуатации в конструкцию реактора был внесен ряд изменений, которые учитывали новые требования исследователей.

Наиболее значимые модернизации ВВР-М следующие.

1968 г. Разработан, изготовлен и внедрен в эксплуатацию малогабаритный привод стержней СУЗ, совмещенный с каналом стержня СУЗ, свободно размещаемый в любой ячейке активной зоны, что позволяет в широком диапазоне менять конфигурацию активной зоны под любой наперед заданный физический эксперимент.

1970 г. Спроектирована и смонтирована надреакторная камера (НРК), что выгодно отличает реактор ВВР-М от однотипных серийных реакторов ВВР-С по своим технологическим и экспериментальным возможностям, и которая в сочетании с удобной конструкцией собственно реактора в дальнейшем позволила выполнить широкий круг уникальных работ, в частности таких, как

- исследование несохранения пространственной четности в реакциях $n+p \rightarrow d+\gamma$;
- размещение в центре активной зоны жидководородного источника холодных и ультрахолодных нейтронов.

1980 г. Разработана конструкция шестигранной ТВС с трубчатыми твэлами, на базе которой после ряда модификаций была создана ТВС типа ВВР-М5 — одна из лучших сборок, разработанных для исследовательских реакторов с поверхностью теплообмена в единице объема активной части $6,6 \text{ см}^2/\text{см}^3$ и удельной энергонапряженностью до 900 кВт/л , что позволило примерно в 2 раза увеличить объем экспериментальных устройств, размещаемых в активной зоне, и поднять мощность реактора до 18 МВт .

1988 г. Устранен дефицит безопасности. Спроектирована и смонтирована система сбора и возврата протечек теплоносителя из оборудования и трубопроводов I-го контура в бак реактора.

В процессе освоения номинальной мощности и дальнейшей эксплуатации реактора помимо модернизаций, приведенных выше, постоянно реализовывались программы и мероприятия, направленные на поддержание и повышение уровня безопасности реактора.

Выполнено сейсмическое микрорайонирование площадки института. Исполнитель: ПНИИС при Госстрое РСФСР.

Определены поэтажные акселерограммы и спектры ответов, выполнены расчеты на сейсмостойкость корпуса № 1 (здания реактора ВВР-М). Исполнитель: ВНИПИЭТ.

Смонтирована и введена в эксплуатацию система контроля мощности дозы нейтронного излучения СРК-АТ2327.

Заменены:

- А1-участки трубопроводов главного циркуляционного контура на вновь изготовленные из сплава АМГ-3;
- насосы I-го и II-го контуров;
- корпуса ИОФ в системе очистки теплоносителя I-го контура;
- очистные фильтры на аэрозольные сорбирующие йодные типа ФАИ-3000-2 в системах технологической вентиляции В-1А, Б, В-2, А, В;
- аккумуляторные батареи и агрегаты бесперебойного питания в системе надежного электроснабжения потребителей особой группы реактора;
- каналы и стержни системы управления и защиты;

- силовые кабели питания ГЦН на нераспространяющие горение;
 - комплекты приборов измерения параметров теплоносителя I-го и II-го контуров.
- Смонтировано (дополнительное) бесперебойное питание приборов, контролирующих следующие важные параметры реактора:
- нейтронную мощность;
 - уровни дистиллята в баке реактора;
 - расход дистиллята в I-м контуре;
 - температуру дистиллята в баке реактора.
- Демонтирована проектная (деревянная) градирня, смонтирована двухсекционная вентиляционная градирня.

Устранены дефекты (непровары) корня шва в 12 наиболее напряженных сварных швах на трубопроводах I-го контура из нержавеющей стали.

Совместно с материаловедческой организацией ФГУП «ЦНИИ КМ "Прометей"» выполнены испытания образцов, изготовленных из облученного сплава САВ-1 (материал бака реактора ВВР-М) до флюенса, равного $3,48 \cdot 10^{22}$ см⁻². Облучение выполнено на реакторе СМ-3 ОАО «ГНЦ НИИАР». По результатам испытаний определено, что сроки службы элементов бака реактора (опорной решетки, доннышек ГЭК) могут быть продлены до набора ими флюенса быстрых нейтронов с энергией $> 0,8$ МэВ, равного $3,48 \cdot 10^{22}$ см⁻².

В 2008–2010 гг. в рамках «Требований к обоснованию возможности продления назначенного срока эксплуатации объектов использования атомной энергии» НП-024-2000 проведено комплексное обследование оборудования и систем реактора, важных для безопасности. На основании положительных результатов, полученных при обследовании, институтом было составлено решение о продлении ресурса реактора до конца 2015 г., которое было согласовано с Госкорпорацией «Росатом» — органом управления использования атомной энергии для института в это время.

В 2013–2014 гг. проведено очередное комплексное обследование части оборудования и систем реактора, важных для безопасности, оставшаяся часть обследуется в 2015 г.

С января 2016 г. реактор переводится в режим длительного останова в связи с истечением продленного срока службы СУЗ с целью ее замены на вновь изготовленную.

После замены СУЗ и завершения в полном объеме комплексного обследования оборудования и систем реактора, важных для безопасности, институт оформляет решение о продлении ресурса реактора на очередной срок, продолжительность которого, по предварительным оценкам, может составлять от 5 до 10 лет.

После согласования решения с Минобрнауки РФ (на настоящий момент орган управления использованием атомной энергии для института) планируется перевод реактора в режим пуска и работы на мощности.

Персоны



Русинов Лев Ильич

Научный руководитель реактора



Коноплев Кир Александрович

Главный технолог реактора



Пикулик Ренард Григорьевич

Главный инженер реактора

Контакты



Илатовский Владимир Алексеевич

Главный инженер реактора ВВР-М

Тел.: +7(813)714-65-03. Факс: +7(813)713-00-55.

E-mail: ilatovskiy@pnpi.spb.ru

КРИТИЧЕСКИЙ СТЕНД ФМ ПИК

Критический стенд «Физическая модель реактора ПИК» является полномасштабной копией реактора ПИК и предназначен для выполнения исследований по физике и технике сооружаемого реактора ПИК, обоснования проектных решений и безопасности, проверки и испытаний поставляемых элементов СУЗ, активной зоны, отработки технологии обращения с тяжелой водой, моделирования разрабатываемых экспериментальных устройств. Комплекс критического стенда также используется в учебных целях для подготовки специалистов по эксплуатации реактора ПИК. КС ФМ ПИК мощностью 100 Вт введен в эксплуатацию в 1983 г.

Кроме критического стенда ФМ ПИК, в состав комплекса входят две тяжеловодные технологические установки, предназначенные для исследований технологии производства тяжелой воды и поддержания ее качества в экспериментах на ФМ ПИК:

- опытно-промышленная установка изотопной очистки (депротизации) тяжелой воды (установка УД);
- экспериментальная полупромышленная установка изотопной очистки воды на основе метода изотопного обмена на гидрофобных катализаторах и электролиза воды (установка ЭВИО), где исследуются методы очистки тяжелой воды от изотопов протия и трития.