

ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ ЯДЕРНЫЕ УСТАНОВКИ УКРАИНЫ

*Исследовательская ядерная установка ВВР-М эксплуатируется
в Институте ядерных исследований Национальной Академии Наук
Украины, расположенном в городе Киеве.*



ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК УКРАИНЫ



03680, Украина, г. Киев, пр-т Науки, 47.
Тел.: +380(44)525-23-49. Факс: +380(44)525-44-63.
E-mail: interdep@kinr.kiev.ua; <http://www.kinr.kiev.ua>

Институт ядерных исследований Национальной академии наук Украины (ИЯИ) организован в 1970 г. Истоки ядерных исследований в Украине уходят корнями еще в довоенные годы, когда в Физико-техническом институте в Харькове в 1932 г. была осуществлена первая в СССР реакция расщепления ядер лития, и группой ученых под руководством А. И. Лейпунского были достигнуты выдающиеся успехи в решении проблемы создания условий осуществления цепной реакции деления ядер урана и оценена выделяющаяся при этом энергия.

Это направление исследований было продолжено в Институте физики АН Украины, где еще в 1944 г. был создан отдел для решения ряда вопросов ядерной физики и использования атомной энергии. Для выполнения намеченных работ последовательно были введены в действие: в 1956 г. циклотрон У-120, в 1960 г. исследовательский реактор ВВР-М и в 1964 г. электростатический генератор ЭГП-5. На этих установках были получены важные результаты, которые подтвердили актуальность изучения ядерных процессов.

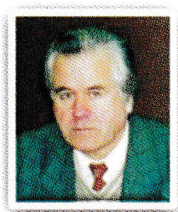
Потребности в развитии ядерно-физических исследований неуклонно росли, что и обусловило необходимость комплексного решения ряда, связанных с этим, проблем. Для этого 26 марта 1970 г. Президиум АН УССР во исполнение соответствующего постановления Совета Министров УССР принял постановление № 105 о создании Института ядерных исследований (ИЯИ) Академии наук УССР на базе ряда ядерных отделов Института физики АН УССР.

Инициатором создания ИЯИ и первым его директором стал академик АН Украины Н. В. Пасечник. В дальнейшем институт возглавлял академик АН Украины В. Ф. Немец (1974–1983). С середины 1983 г. институт возглавляет его нынешний директор академик Национальной академии наук Украины Иван Николаевич Вишневский.

Основными направлениями работ ИЯИ были определены фундаментальные и прикладные исследования по ядерной физике низких и средних энергий, физики реакторов, перспективных проблем атомной энергетики и исследования по использованию изотопов и ядерных излучений в народном хозяйстве.

В первые годы своего существования ИЯИ состоял из отделов ядерной физики, ядерных реакций, теории ядра, ядерной спектроскопии, ядерной электроники, радиационной физики и филиала Ужгородского отделения в составе отдела фотоядерных процессов.

Экспериментальные работы обеспечивались современными ядерно-физическими установками, главными из которых были: исследовательский реактор ВВР-М, защитные боксы и «горячие» камеры для работы с высокоактивными материалами, циклотрон У-120, тандем-генератор ЭГП-10К и нейтронные генераторы. В 1975 г. был введен в действие изохронный циклотрон У-240, который в то время не имел аналогов в Европе. В течение 1970–1980-х гг. выделились главные направления фундаментальных и прикладных работ института: ядерная физика средних и низких энергий, атомная



*Директор
ИЯИ НАНУ
Вишневский
Иван
Николаевич*

энергетика, радиационная физика твердого тела и радиационное материаловедение, физика плазмы. Постепенно увеличивалась численность научных подразделений института, и расширялись объем и тематика их работы. С 1985 г. действует Центр экологических проблем атомной энергетики НАНУ. Экспериментальные работы в ИЯИ включают в себя комплексное изучение взаимодействия нейтронов, протонов, дейтронов, альфа-частиц и более тяжелых ядер с ядрами почти всех элементов периодической системы.

Среди наиболее весомых результатов института следует отметить исследования по нейтронной физике, исследования ядерных реакций, теоретические работы по физике атомного ядра. Успехи достигнуты в области ядерной спектроскопии, в исследованиях свойств нейтрино и слабого взаимодействия элементарных частиц, в области ядерной энергетики при разработке и решении научно-технических проблем безопасной эксплуатации атомных электростанций и физических проблем термоядерного синтеза, в области радиационной физики, в области физики ионной, электронной и термоядерной плазмы. Разработаны: методы сбора, накопления и анализа данных ядерно-физических экспериментов; устройства ядерной электроники; специализированное программное обеспечение и созданы автоматизированные измерительные системы нового поколения на основе современной микроэлектроники, универсальных компьютеров и информационных технологий. Уделяется внимание вопросам радиоэкологии: изучению в модельных экспериментах на животных и при обследовании людей действия ионизирующего излучения на организм и изучение влияния предприятий ядерного топливного цикла (включая АЭС) на экологические системы.

Наряду с фундаментальными работами в ИЯИ всегда большое внимание уделяется внедрению результатов исследований в производственную сферу. Разработаны и используются технологии, методики и экспериментальные установки для работ по радиационному материаловедению, радиоэлементному анализу, ядерной медицине, плазменным технологиям, контролю радиоактивного загрязнения окружающей среды и др. На базе института созданы Украинский центр информации по ядерной науке и технике, INIS, Сектор ядерных данных и Учебный центр по физической защите, учету и контролю ядерных материалов.

В ИЯИ уделяется большое внимание развитию международных научных связей. Сотрудники института проводят совместные исследования с научными учреждениями России, США, Франции, Германии, Италии, Австрии, Польши, Швеции, Нидерландов, Японии и других стран. Институт координирует участие украинских физиков-ядерщиков в работе Объединенного института ядерных исследований (Дубна) и поддерживает рабочие связи с МАГАТЭ.

Ученые института принимают участие в осуществлении ряда международных научных программ, оказывают существенную помощь в подготовке высококвалифицированных кадров и специалистов для других стран. Особенно плодотворным является сотрудничество ученых института с такими центрами: DESY (Гамбург, Германия); CERN (Женева, Швейцария); Max-Planck-Institute for Nucleare Physics (Грайфсвальд, Германия); Technical University of Munich (Германия); Institute of Nuclear Physics PAN (Краков, Польша); Institute Nucleare Research (Варшава, Польша); Национальным Институтом ядерной физики Университета Катании (Италия); Max-Planck-Institute for Plasma Physics (Гархинг, Германия); Лаборатории физики плазмы Принстонского университета (США); Институтом теоретической физики Университета Инсбрука (Австрия); GSI (Дармштадт, Германия); Los Alamos National Laboratory, Sandia National Laboratories, Argonne National Laboratory (США).

Исследовательская ядерная установка ИЯИ НАН Украины

Тип ИЯУ	Название ИЯУ	Мощность тепловая, кВт	Год физического пуска	Состояние	Длительность эксплуатации, лет*
ИР	ВВР-М	10000	1960	Действующий	55

* — на 2015 г.

ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ РЕАКТОР ВВР-М

Исследовательский ядерный реактор ВВР-М (ИЯР ВВР-М), физический пуск которого осуществлен 12.02.1960 г., используется для решения задач в области ядерной и нейтронной физики, радиационной физики полупроводников, радиационного материаловедения, атомной энергетики, физики конденсированной среды, радиоэкологии, нейтронно-активационного анализа, производства радиоизотопов для промышленности и радиофармпрепаратов для медицины и др. ВВР-М неоднократно реконструировался и модернизировался, срок эксплуатации на всех проектных режимах продлен до 2023 г.



Центральный зал реакторной установки ВВР-М

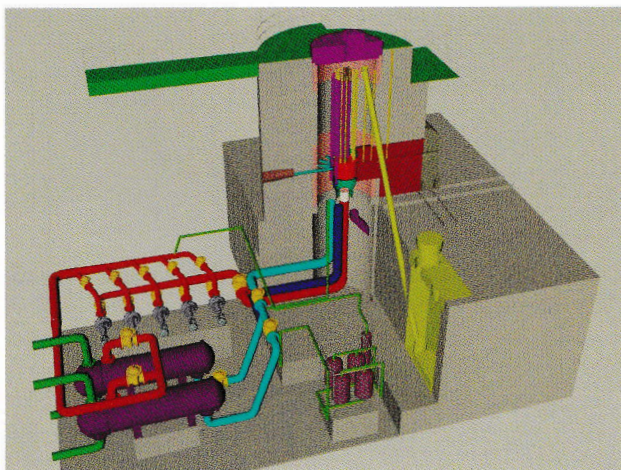
Тип реактора ВВР-М — бассейновый. Корпус (бак) реактора емкостью 22 м³ (в 1-м контуре 40 м³) изготовлен из сплава САВ-1, диаметром 2300 мм и высотой 5705 мм. В корпус бака сварено 9 «стаканов» горизонтальных каналов и ниша тепловой колонны (диаметр — 1150 мм). Теплоносителем и замедлителем в реакторе служит дистиллированная вода, отражателем нейтронов — металлический бериллий, который расположен вокруг активной зоны и имеет внешний диаметр 930 мм и высоту 560 мм. Активная зона имеет форму шестигранника с диаметром вписанной окружности 570 мм, высотой 500 мм для размещения до 262 ТВС. Ядерное топливо — низкообогащенный уран: UO₂-Al, тип ТВС — ВВР-М2. Реактор имеет отрицательный температурный и мощностной эффекты реактивности. Экспериментальные устройства: 9 горизонтальных каналов, 1 тепловая колонна, 13 верти-

кальных изотопных каналов в бериллиевом отражателе, 4 вертикальных канала в тепловой колонне, 3 канала, $d = 300$ мм, в биологической защите, вместо одинарных ТВС, при необходимости может быть установлено до 15 вертикальных каналов.


Основные технические характеристики ВВР-М


Мощность ИЯР (тепловая), МВт	10
Теплоноситель	дистиллированная вода
Отражатель	металлический бериллий
Замедлитель	дистиллированная вода
Давление теплоносителя в 1-м контуре, макс., МПа	0,15
Расход теплоносителя, м ³ /ч	1250
Скорость потока теплоносителя в активной зоне, м/с	2,6
Температура теплоносителя на выходе из активной зоны, макс., °С	55
Обогащение топлива по ²³⁵ U, %	19,7
Выгорание топлива по ²³⁵ U, %:	
— среднее	30
— максимальное	60
Энергонапряженность активной зоны, Вт/см ³ :	
— средняя	100
— максимальная	200
Плотность теплового потока на поверхности твэл, макс., кВт/м ²	545
Плотность потока нейтронов, макс., см ⁻² ·с ⁻¹ :	
— тепловых	$1,2 \cdot 10^{14}$
— быстрых	$0,6 \cdot 10^{14}$
Число тепловыделяющих сборок (ТВС)	156–262
Конструкция ТВС	3-х кольцевая (наружное — шестигранник)
Число органов:	
— аварийной защиты (АЗ)	3
— регулирования (РО)	6: АР, РР1, РР2, РР



Режим работы реактора определяется согласно требованиям экспериментальной программы.

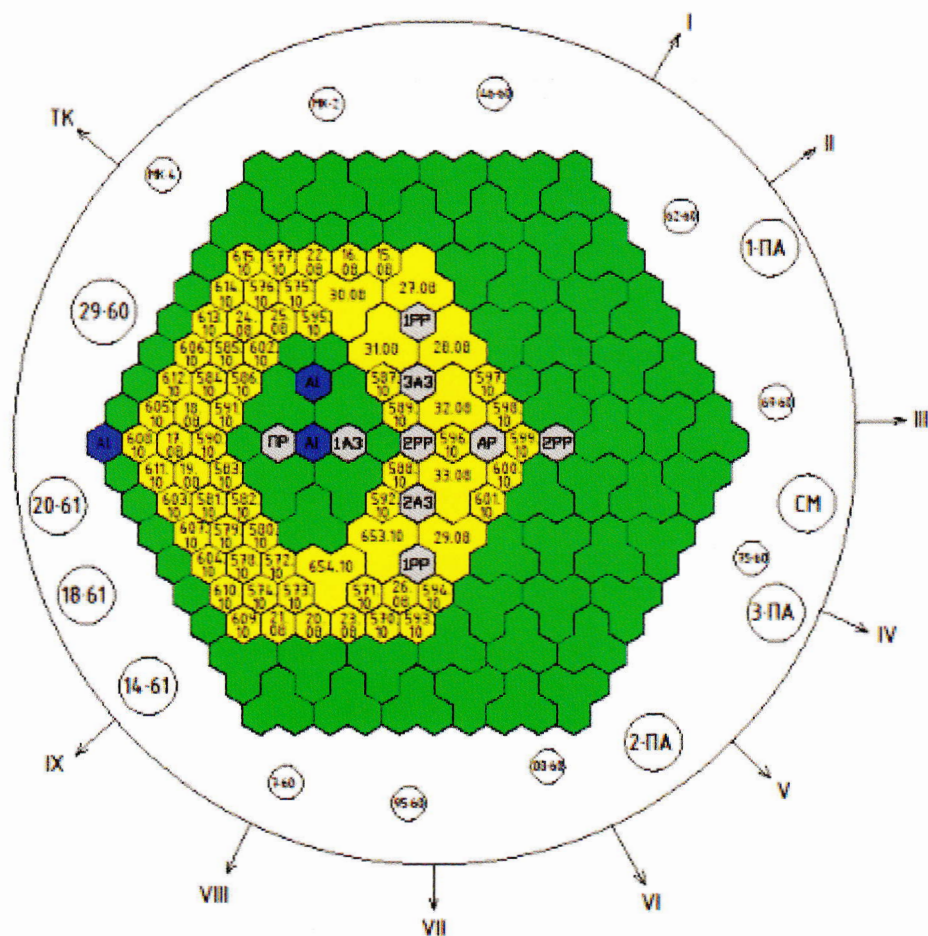


3D-модель реактора ВВР-М

 Органы СУЗ:
 АЗ — 3
 Регулирующие — 8

 ТВС:
 Тройные — 9
 Одиночные — 58

 Вытеснители Ве:
 Тройные — 51
 Одиночные — 21
 Вытеснители АІ одиночные — 3



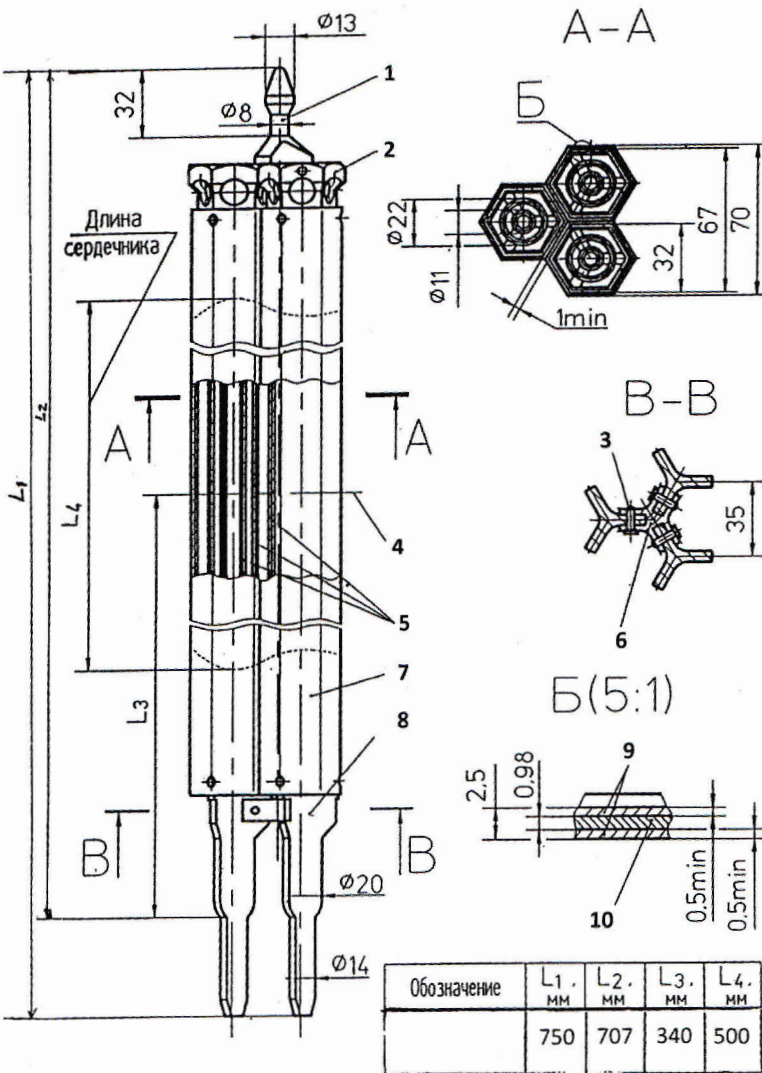
Пример картограммы активной зоны реактора ВВР-М

Ядерное топливо

Тепловыделяющие сборки — ТВС ВВР-М2 — представляют собой сборку из 3-х трубчатых тепловыделяющих элементов в алюминиевой оболочке. Топливо — дисперсионное, двуокись урана ($UO_2 + Al$), обогащение — 19,7%. Ядерное топливо имеет «низкие» параметры — температура теплоносителя не превышает 50 °С, химический состав воды таков, что она нейтральна для алюминиевого сплава (рН находится в пределах 5,5–6,5, химический состав поддерживается в пределах, регламентированных требованиями отраслевого стандарта ОСТ 9510134-91).

Параметры ТВС ВВР-М2

Обогащение, %	19,7
Число твэлов	3
Масса ^{235}U , г	41,7
Топливная композиция	$\text{UO}_2\text{-Al}$
Длина активной части ТВС, см	50
Шаг/размер «под ключ», мм	35/32
Толщина твэла/оболочки/топлива, мм	2,5/0,76/0,98
Удельная поверхность теплообмена, $\text{см}^2/\text{см}^3$	3,67
Коэффициент гидравлического сопротивления	$4,35 \pm 0,14$



Трехсекционная сборка ТВС ВВР-М2: 1 — головка; 2 — поясик; 3 — заклепка; 4 — середина сердечника; 5 — твэлы; 6 — звездочка; 7 — секция; 8 — хвостовик; 9 — оболочка; 10 — сердечник

Обозначение	L1. мм	L2. мм	L3. мм	L4. мм
	750	707	340	500

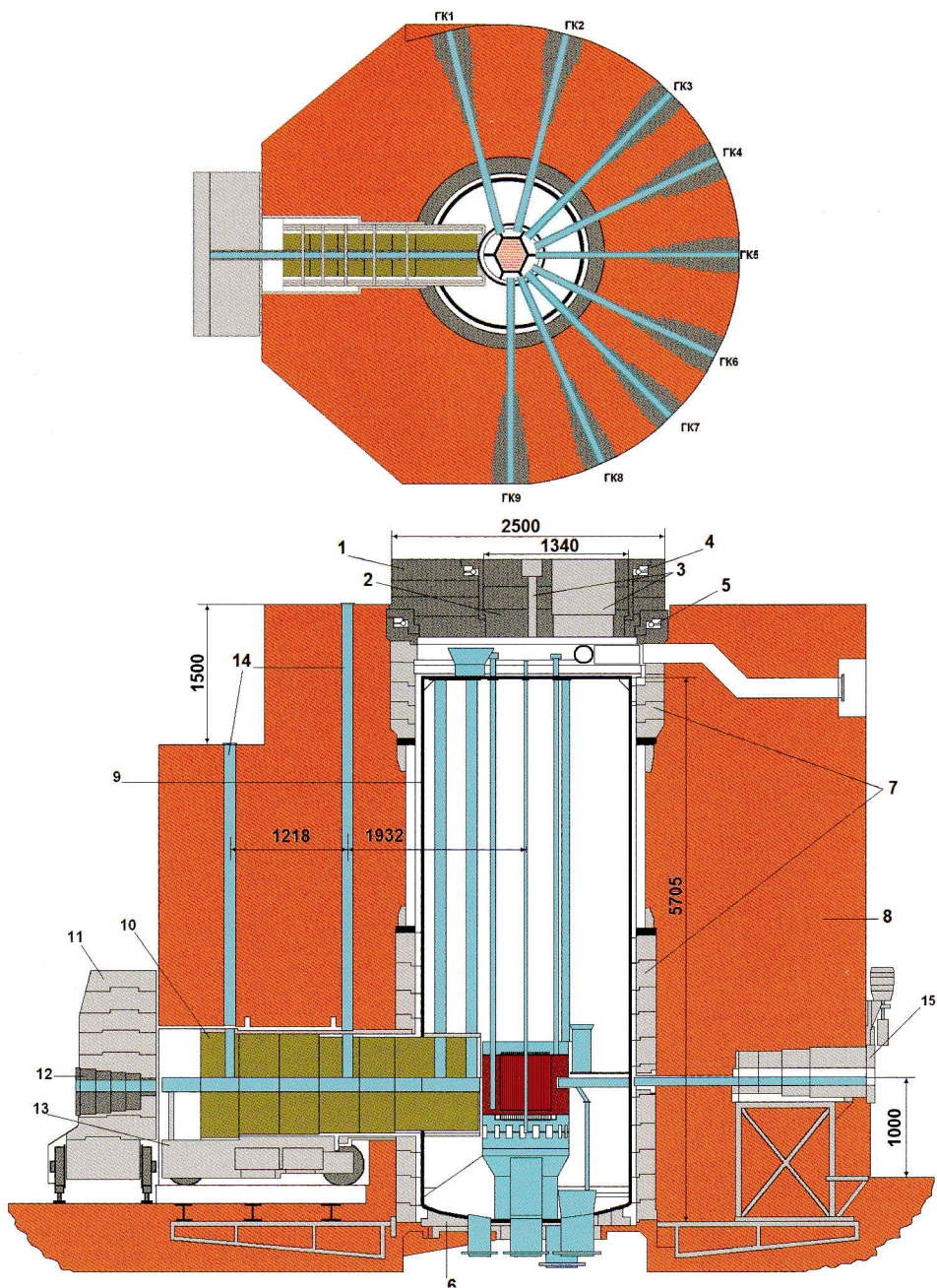
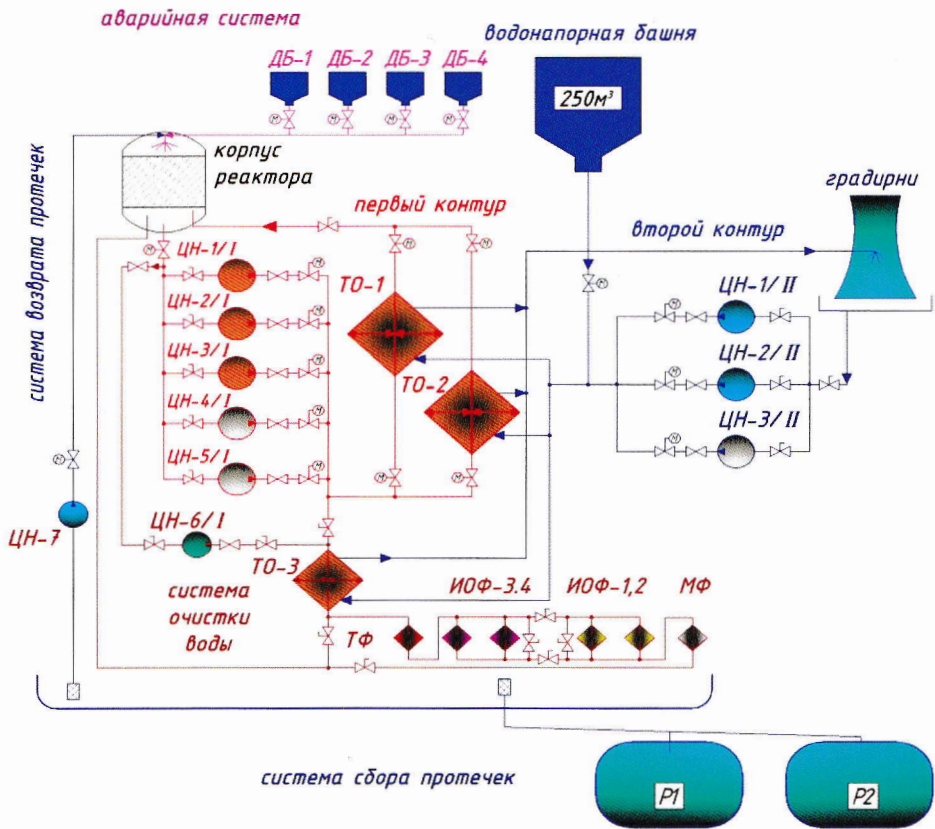


Схема реактора ВВР-М: 1 — большая вращательная крышка; 2 — малая вращающаяся крышка; 3 — пробки защитные; 4 — шарикоподшипник большой крышки; 5 — шарикоподшипник малой крышки; 6 — опорная плита; 7 — биологическая защита (кольца); 8 — бетонная защита; 9 — наружный бак; 10 — тепловая колонна; 11 — защита тепловой колонны; 12 — шибер тепловой колонны; 13 — тележка тепловой колонны; 14 — каналы тепловой колонны; 15 — шиберы горизонтальных экспериментальных каналов



Система охлаждения активной зоны реактора ВВР-М

Охлаждение активной зоны

Система охлаждения реактора ВВР-М — двухконтурная. Предназначением 1-го контура охлаждения является осуществление циркуляции теплоносителя из реактора до теплообменника и обратно.

Теплоноситель (вода высокой чистоты), насосами 1-го контура (при мощности 10 МВт работает 3 насоса и 2 в резерве) прокачивается через активную зону (сверху вниз), затем поступает во всасывающий трубопровод, теплообменники и напорным трубопроводом возвращается в реактор.

В аварийных режимах может быть использована система аварийного расхолаживания, система возврата вытекающего теплоносителя в реактор.

Экспериментальные возможности

Научно-исследовательские работы, проводимые на горизонтальных экспериментальных каналах (ГЭК):

- ГЭК № 2, 3, 7, 8, 9 — нейтронная и ядерная физика: взаимодействие нейтронов с ядрами вещества;
- ГЭК № 1, 4, 5 — физика конденсированного вещества: динамика атомов и молекул в жидкой и твердой фазах;

— ГЭК № 6 — радиационная физика твердого тела: радиационные дефекты, полупроводники.

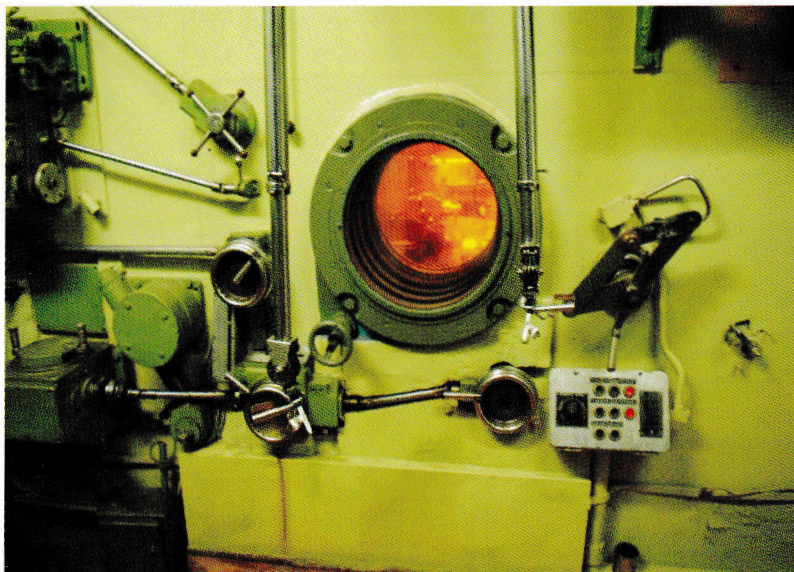
Прикладные работы, проводимые на горизонтальных экспериментальных каналах (ГЭК):

— ГЭК № 7 — нейтронно-активационный анализ;

— ГЭК № 6 — нейтронное легирование кремния, создание детекторов на основе кремния;

— ГЭК № 3 — определение концентрации делящихся ядер.

В реакторе размещено 17 вертикальных облучательных каналов и по необходимости можно установить до 15 дополнительных каналов.



«Горячая» камера

«Горячие» камеры (12 камер) расположены в здании реактора и в помещении, примыкающем к зданию реактора. Они предназначены для проведения физико-механических испытаний и исследования твердых облученных образцов, образцов-«свидетелей» АЭС, перезарядки закрытых радиоактивных источников для нужд медицины и промышленности.

Наиболее значимые работы

ИЯР ИЯИ НАН Украины принимал участие в программах:

- по созданию атомных реакторов на тепловых и быстрых нейтронах для производства электроэнергии тепла и энергохимических процессов;
- по созданию и организации производства радиофармпрепаратов;
- по получению ядерных данных для атомного реактора на быстрых нейтронах и его топливного цикла;
- по выполнению заданий Правительственной комиссии по анализу β - γ и α -загрязненности внешней среды, питьевой воды и продуктов питания после аварии на ЧАЭС. Разработана система контроля параметров ядерной безопасности, реализованная на объекте «Укрытие». На основе проведенных в институте в 2002 г. исследований был выпущен атлас радиоактивного загрязнения Украины;
- по исследованию радиационной стойкости корпусных сталей для реакторов на быстрых нейтронах, энергетических реакторов ВВР;

- по воздействию нейтронов различных энергий на человека в целом и на злокачественные опухоли.

Основные достижения

Определены нейтронные сечения радиоактивных и стабильных изотопов.

Обнаружено дополнительное рассеяние быстрых нейтронов в монокристалле германия.

Обнаружена зависимость энергии Оже-электрона от способа возбуждения атома.

Установлена высокая канцерогенная эффективность малых доз нейтронов различных энергий.

Разработан технологический процесс получения фармпрепарата на основе технеция-99.

Реконструкции

С целью поддержания в рабочем состоянии для проведения исследований, обеспечения ядерной, радиационной безопасности, защиты персонала и окружающей среды и продления ресурса за годы существования на реакторе осуществлено следующее:

- проведена замена теплообменников 1–2 контура и трубопроводов обвязки, 1989 г.;
- проведена замена аппаратуры СУЗ и КВП на ПТК АРКУЗ, 2008 г.;
- введены в эксплуатацию:
 - второе хранилище отработанного топлива БВ-2, 2009 г.;
 - хранилище свежего топлива, 1982 г.;
 - 8 «горячих» камер, 1976 г.;
 - закрытая система очистки ЖРО, 1988 г.;
 - система очистки воздуха, 1975 г.;
- модернизирована система аварийного электрообеспечения, 2014 г.;
- проведена замена градири на вентиляторную, 1976 г.;
- осуществлен переход на низкообогащенное топливо с обогащением по урану ^{235}U — 19,7%;
- проведена замена 4-х вентиляторов системы спецвентиляции, 2012 г.;
- проведена замена насосов 2-го контура и задвижек, 2013 г.;
- проведена замена неотключаемых участков трубопровода 1-го контура из сплава САВ-1 на трубопроводы из АМг-3, 2014 г.

В 2013–2014 гг. были произведены расчеты прочности систем и оборудования 1-го контура, системы аварийного расхолаживания, хранилищ ЖРО, металла корпуса реактора и его внутрикорпусных конструкций, которые находятся в зоне воздействия нейтронов с учетом достигнутого флюенса по быстрым нейтронам на опорной решетке и доньшках ГЭК.

На основании проведенных модернизаций, расчетов прочности основных систем и элементов, положительных результатов технических обследований систем и оборудования срок эксплуатации ИЯР ИЯИ НАН Украины на всех проектных режимах продлен Госатомрегулирования Украины до 31.12.2023 г. (лиц. ЕО № 000051 от 22.05.2002 г., лист изм. серия АА № 000263 от 21.01.2015 г.).

Перспективы использования реактора

Реактор ИЯР ИЯИ НАН Украины в настоящий момент является действующим. На реакторе производится и планируется в будущем:

- производство радиоизотопов для промышленности;
- производство различных образцовых ИИИ;
- производство радиофармпрепаратов для медицины;

- поддержка Государственного эталона плотности потока и флюенса нейтронов, активности по альфа-, бета-, гамма-излучению, поглощенной дозы и мощности дозы гамма- и нейтронного излучения;
- ядерное легирование полупроводников;
- определение радиационной стойкости корпусных сталей для реакторов АЭС;
- радиационные испытания радиоэлектронных приборов и др.

Контакты



Макаровский Владимир Николаевич

Главный инженер ИЯР ВВР-М

Тел.: +380(50)525-38-64.

E-mail: vmakar@kinr.kiev.ua