

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ



141980, Российская Федерация, г. Дубна, ул. Жолио-Кюри, 6.
Тел.: +7(496)216-50-59. Факс: +7(495)632-78-80.
E-mail: post@jinr.ru; <http://www.jinr.ru>

Объединенный институт ядерных исследований (ОИЯИ) — международная межправительственная научно-исследовательская организация, расположенная в г. Дубна Московской области, Российская Федерация.

ОИЯИ создан в целях объединения усилий, научного и материального потенциала государств-членов для изучения фундаментальных свойств материи. Членами ОИЯИ на сегодняшний день являются 18 государств: Азербайджанская Республика, Республика Армения, Республика Белоруссия, Республика Болгария, Социалистическая Республика Вьетнам, Грузия, Республика Казахстан, Корейская Народно-Демократическая Республика, Республика Куба, Республика Молдова, Монголия, Республика Польша, Российская Федерация, Румыния, Словацкая Республика, Республика Узбекистан, Украина, Чешская Республика. На правительственном уровне заключены соглашения о сотрудничестве института с Венгрией, Германией, Египтом, Италией, Сербией и Южно-Африканской Республикой.



Здание ОИЯИ

Объединенный институт ядерных исследований был создан на основе Соглашения, подписанного 26 марта 1956 г. в Москве представителями правительств одиннадцати стран-учредителей. Соглашением предусматривалось создание Лаборатории теоретической физики, Лаборатории нейтронной физики с экспериментальным ядерным реактором с высокой плотностью потока нейтронов и циклотрона, предназначенного для ускорения многозарядных ионов различных элементов. 1 февраля 1957 г. ОИЯИ был зарегистрирован ООН.

Первым директором ОИЯИ был избран профессор Д. И. Блохинцев. Комитетом полномочных представителей государств-членов ОИЯИ директором ОИЯИ 25 марта 2011 г. избран Виктор Анатольевич Матвеев — доктор физико-математических наук, академик РАН, автор более 300 научных работ.

ОИЯИ — это подлинно международный институт. Его высшим руководящим органом является Комитет полномочных представителей всех 18 стран-участниц. Научную политику института вырабатывает



*Директор ОИЯИ
Матвеев Виктор
Анатольевич*

Ученый совет, в состав которого, помимо крупных ученых, представляющих страны-участницы, входят известные физики Германии, Италии, США, Франции, Европейской организации ядерных исследований (ЦЕРН).

На долю ОИЯИ приходится половина открытий (около 40) в области ядерной физики, зарегистрированных в бывшем СССР. Так, в институте были синтезированы все трансурановые элементы, открытые в СССР и России. Признанием выдающегося вклада ученых ОИЯИ в современную физику и химию является решение Международного союза чистой и прикладной химии о присвоении 105-му элементу Периодической системы элементов Д. И. Менделеева названия «Дубний».



Главный инженер ОИЯИ
Ширков
Григорий
Дмитриевич

В составе ОИЯИ семь лабораторий, каждая из которых по масштабам исследований сопоставима с большим институтом. Штат насчитывает около 5000 человек, из них более 1200 — научные сотрудники, около 2000 — инженерно-технический персонал. Институт располагает замечательным набором экспериментальных физических установок: единственным в России сверхпроводящим ускорителем ядер и тяжелых ионов — нуклотроном, циклотронами У-400 и У-400М с рекордными параметрами пучков для проведения экспериментов по синтезу тяжелых и экзотических ядер, уникальным исследовательским импульсным реактором ИБР-2М и ускорителем протонов — фазотроном, который используется для лучевой терапии. ОИЯИ обладает мощными и быстродействующими вычислительными средствами, интегрированными в мировые компьютерные сети. В конце 2008 г. состоялся успешный запуск новой базовой установки

ИРЕН-I, предназначенной для исследований в области ядерной физики с помощью время-пролетной методики в энергетическом диапазоне нейтронов до сотен кэВ. Успешно идут работы по проекту «Нуклотрон-М», который должен стать основой нового сверхпроводящего коллайдера NICA, а также по созданию комплекса тяжелых ионов DRIBs-II. В соответствии с графиком идут работы по модернизации комплекса спектрометров реактора ИБР-2М, включенного в 20-летнюю Европейскую стратегическую программу по исследованиям в области нейтронного рассеяния.

Экспериментальные установки ОИЯИ

| Тип ИЯУ | Название установки | Состояние | Деятельность установки |
|---------|--------------------|-----------------------------------|---|
| Реактор | ИБР-1 | Выведен из эксплуатации в 1968 г. | Использовался в режиме размножения нейтронных импульсов нейтронно-производящей мишени электронного ускорителя-микротрона |
| Реактор | ИБР-30 | Выведен из эксплуатации в 2001 г. | Источник нейтронов для исследований в области физики конденсированных сред, работающий попеременно в двух режимах: реакторном и бустером с вольфрамовой мишенью |
| Реактор | ИБР-2 | Действующий с 1984 г. | Источник нейтронов для пучковых исследований в области физики конденсированных сред с применением метода спектрометрии по времени пролета |

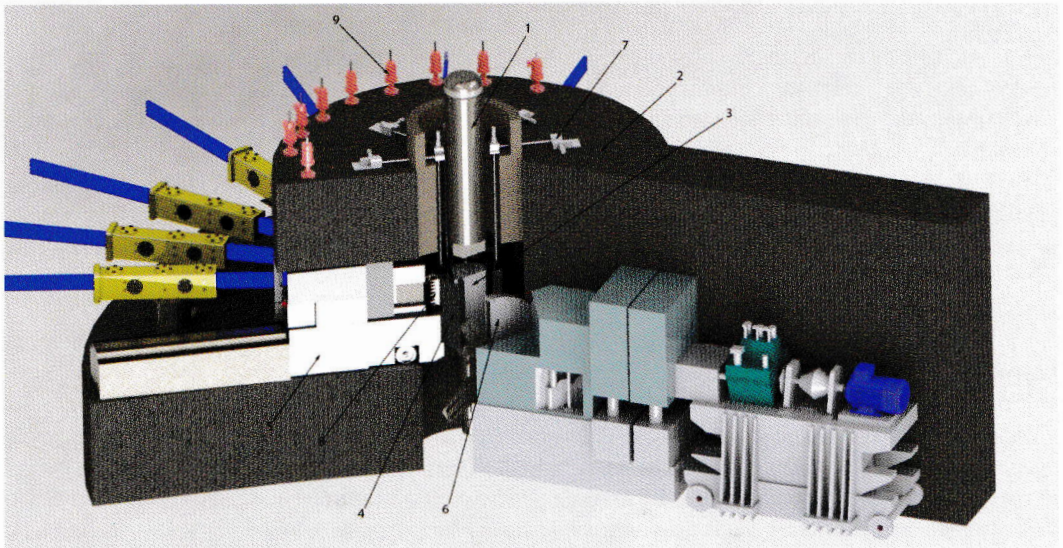
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ РЕАКТОР ИБР-2

Исследовательская ядерная установка ИБР-2 на быстрых нейтронах с модернизированным реактором введена в эксплуатацию 28.10.2011 г.

Установка с импульсным ядерным реактором ИБР-2 включает в себя комплекс оборудования и технологических систем, обеспечивающих проектные режимы работы.



Здание ИЯУ ИБР-2



Модель установки ИБР-2: 1 — корпус реактора ИБР-2М; 2 — массив биологической защиты; 3 — активная зона; 4 — стационарный отражатель; 5 — откатная защита; 6 — модулятор реактивности; 7 — приводы СУЗ; 8 — водяной замедлитель; 9 — привод шибера

Корпус реактора ИБР-2М (1) размещен в массиве биологической защиты (2) в отдельном здании с реакторным залом; центр активной зоны находится на отметке +6,0 м. Корпус реактора предназначен для размещения в нем тепловыделяющих сборок, защитных пово-

ротных пробок системы перегрузки кассет и организации протока теплоносителя I контура через активную зону. Корпус реактора представляет собой комбинированный сосуд переменного по высоте сечения и профиля, работающий под давлением. При проектировании корпуса учитывалась возможность его разгерметизации и были приняты специальные технические меры по локализации последствий возможной аварии. На уровне активной зоны (3) корпус представляет собой неправильный шестигранник, пять из шести граней которого охватывают стационарные отражатели (4), установленные на специальных тележках — откатных защитах ОЗ-1 и ОЗ-2 (5). Шестая, наибольшая, грань корпуса обращена к модулятору реактивности — подвижному отражателю ПО-3 (6).

Каждый стационарный отражатель представляет собой корпусную конструкцию (матрицу) из нержавеющей стали марки 08X18H9T, в пазах которой расположены соответствующие рабочие органы СУЗ: компенсирующие блоки КО, блоки аварийной защиты АЗ, блок автоматического регулятора АР и блок ручного регулирования РР. Для уменьшения натекания в активную зону тепловых нейтронов используются блоки из бористой стали СБ-2М. Рабочие органы АЗ, КО и РР выполнены из вольфрамового сплава ВВЖ-95, обладающего высокой эффективностью как отражатель и обеспечивающего минимальное время жизни нейтронов. Рабочий орган АР выполнен из бериллия. В рабочем состоянии органы защиты и регулирования висят на рейках, выведенных на верхнюю крышку защиты реактора. Перемещение органов СУЗ осуществляется с помощью приводов СУЗ (7).

Для получения тепловых и надтепловых нейтронов используются водяные замедлители (8). Конструктивно три водяных замедлителя, установленных за матрицей стационарного отражателя, имеют по две секции охлаждения, еще один водяной замедлитель, установленный за кожухом модулятора реактивности, однополостной. Все корпуса замедлителей выполнены из алюминиевого сплава. Охлаждение осуществляется принудительной циркуляцией воды через замедлители. Все водяные замедлители имеют возможность замены: два замедлителя выкатываются на специальных тележках из проемов откатных защит, установка/удаление наклонного замедлителя осуществляется с помощью специальной машины, установка/удаление замедлителя за ПО-3 осуществляется с помощью крана реакторного зала.

Нейтронные каналы в массиве биологической защиты реактора перекрываются шиберами, которые являются частью биологической защиты. Всего на ИЯУ ИБР-2 14 экспериментальных нейтронных каналов. Для открытия или закрытия нейтронных пучков (10) шибера перемещаются вертикально с помощью специальных приводов (9), установленных на крышке реактора.

Главное и оригинальное отличие установки ИБР-2 от других исследовательских установок — в периодической модуляции реактивности и создании импульсов мощности, осуществляемых с помощью модулятора реактивности — подвижного отражателя гетерогенного типа ПО-3Р. Модулятор реактивности является сложным техническим устройством общей массой до 60 т. Он примыкает к наибольшей грани активной зоны и состоит из модулятора реактивности основного (МРО) и модулятора реактивности дополнительного (МРД). Собственно отражателем являются длинные выступы роторов в виде решетки, выполненной из никелевого сплава. МРО и МРД расположены соосно. Ротор МРО изготовлен из высокопрочной стали и вращается с частотой 10 Гц (600 об/мин), линейная эффективная скорость МРО относительно активной зоны равна 62,8 м/с. Дополнительный модулятор реактивности имеет аналогичную конструкцию и предназначен для модуляции реактивности с частотой 5 Гц (300 об/мин). Оба отражателя приводятся в движение одним асинхронным двигателем через коробку скоростей и поворотный редуктор. В режиме непрерывной мощности и в режиме критсборки ПО-3 главным приводом не вращается.

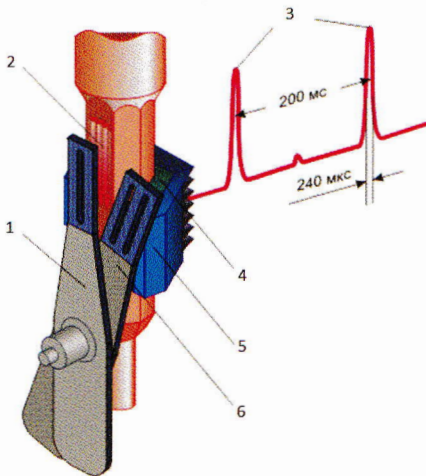
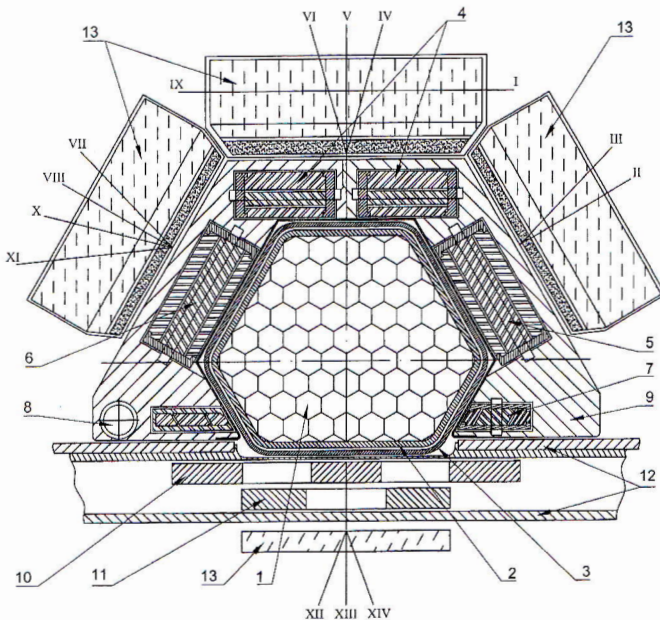


Схема генерации импульсов мощности: 1 — дополнительный подвижный отражатель; 2 — активная зона; 3 — энергия импульсов; 4 — стационарный отражатель; 5 — водяной замедлитель; 6 — основной подвижный отражатель

Импульс, пиковой мощностью 1730 МВт и потоком тепловых нейтронов на задней поверхности замедлителей свыше 10^{16} см⁻²·с⁻¹, развивается при одновременном прохождении МРО и МРД вблизи зоны реактора. При этом длительность импульса — порядка 240 мкс. После вывода отражателей от зоны реактор находится в подкритическом состоянии до следующего импульса мощности. Средняя мощность реактора ИБР-2М при частоте повторения импульсов 5 Гц составляет 2 МВт. Длительность импульсов определяется двумя факторами: временем жизни быстрых нейтронов, а также конфигурацией и скоростью вращения роторов. Для основного подвижного отражателя она снижена в 2,5 раза (до 600 об/мин). Однако за счет встречного движения длительность импульса быстрых нейтронов сохраняется на уровне 200 мкс, но вместе с тем существенно (в 2,5 раза) возрастает ресурс отражателя (до 50 000 ч).



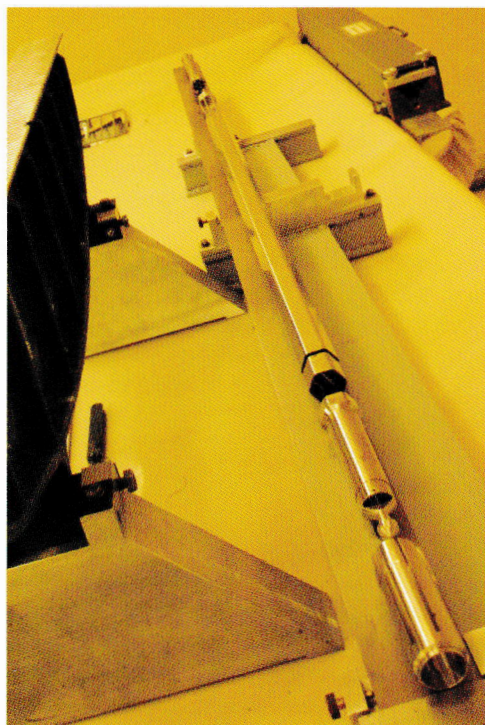
Активная зона реактора ИБР-2М: 1 — активная зона; 2 — корпус реактора; 3 — страховочный кожух реактора; 4 — рабочие органы аварийной защиты; 5 — компенсирующий блок КО1; 6 — компенсирующий блок КО2; 7 — рабочий орган ручного регулятора РР; 8 — рабочий орган автоматического регулятора АР; 9 — матрица стационарного отражателя; 10 — лопасть основного модулятора реактивности МРО; 11 — лопасть дополнительного модулятора реактивности МРД; 12 — кожух модулятора реактивности ПО-3; 13 — водяные замедлители; I—XIV — направление экспериментальных каналов

При установившемся режиме работы 2500 ч/год время использования топлива и подвижного отражателя составит 20–25 лет.

Активная зона реактора набрана из тепловыделяющих сборок (ТВС), предназначенных для размещения твэлов, организации надежного съема тепла с твэлов, загрузки и выгрузки из реактора.

Конструкция ТВС реактора ИБР-2М представляет собой сборку из семи тепловыделяющих элементов (твэл), помещенных в шестигранную чехловую трубу. Материал чехловой трубы — сталь марки 08Х18Н10Т. Твэлы в ТВС плотно упакованы по треугольной сетке с шагом 9,13 мм. ТВС состоит из 3 основных частей: верхней головки, средней рабочей части и нижнего хвостовика. Головка и хвостовик кассеты с цанговым зажимом изготовлены из стали 08Х18Н10Т. Общая длина ТВС — 1245 мм. Пучок твэлов заключен в шестигранную трубу размером «под ключ» 26,2 мм, длиной 835 мм и толщиной стенки 0,4 мм. Шестигранная труба приваривается к верхней головке и нижнему хвостовику аргонодуговой сваркой. Дистанционирование ТВС друг от друга в активной зоне осуществляется посредством цанг, которые привариваются на головки сборок. Диаметр дистанционирующей цанги — 27,2 мм.

Для выравнивания температур по периметру оболочек твэл в шестигранной трубке установлены 6 вытеснителей, которые приварены в нижней части кассеты к шестигранной обойме. Вытеснители изготовлены из стальной проволоки 2-В-12Х1ВН10Т диаметром 0,8 мм. ТВС устанавливаются в решетку активной зоны с шагом 27,2 мм и закрепляются в ней с помощью цангового захвата.

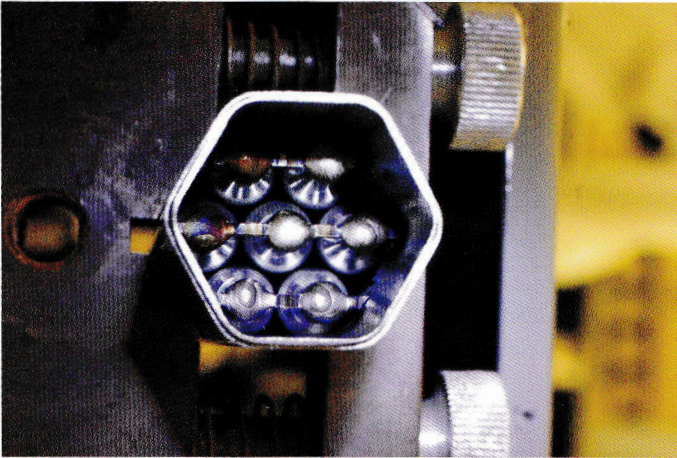


ТВС ИБР-2М



Твэл ИБР-2М

ТВЭЛы в тепловыделяющей сборке приварены в верхней ее части к решетке из стали 08Х18Н10Т. Нижние концы твэлов находятся в свободном состоянии.



Сварка пучка твэлов ИБР-2М

Конструкция твэлов обеспечивает размещение и фиксацию топлива в активной зоне реактора, удержание твердых и газообразных осколков деления в пределах оболочки твэла без распространения по контуру охлаждения активной зоны, надежную теплопередачу к теплоносителю (жидкому натрию) в течение заданного ресурса работы.

Основные особенности разработанной конструкции твэла:

- использование для цилиндрических оболочек твэла стали 06Х16Н15М2Г2ТФР-ИД (ЧС-68ИД) в аустенизированном состоянии;
- применение в качестве топлива керамических таблеток из диоксида плутония с осевым отверстием.

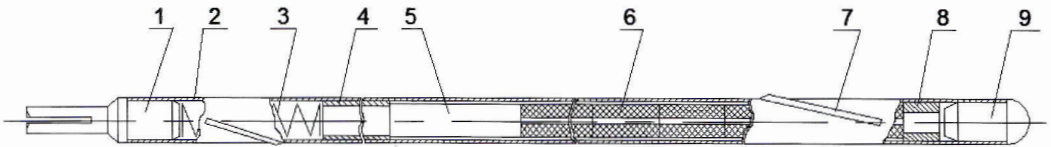


Схема тепловыделяющего элемента ИБР-2М: 1 — наконечник верхний; 2 — оболочка; 3 — пружина; 4 — вставка; 5 — отражатель; 6 — таблетка активной части; 7 — проволока; 8 — втулка; 9 — заглушка

Оболочка твэла представляет собой трубу (2) наружным диаметром 8,6 мм и толщиной стенки 0,45 мм, изготовленной из стали 06Х16 Н1 5 М2Г2ТФР (ЧС-68).

В оболочке размещаются топливный сердечник твэла (6), набранный из таблеток спеченной PuO_2 с содержанием $Pu-239-95,6\%$, и верхний цилиндрический вкладыш-отражатель (5) из вольфрамового сплава ВНЖ-90. Длина сердечника активной части — 444 мм, длина отражателя — 60 мм. Внешний диаметр таблетки активной части — $7,4-0,1$ мм. Диаметр внутреннего отверстия таблетки — $1,5+0,1$ мм. Плотность таблетки — $10,4-10,9$ г/см³. Диаметр отражающего вкладыша — 7,5 мм.

Сердечник активной части твэла и отражатель опираются на вставку (4) и поджимаются пружиной (3), расположенной в верхней газовой полости, с усилием поджатия топливного столба не более 50 Н.

Внутренний объем твэла заполняется гелием. Герметизация твэла осуществляется приваркой верхнего наконечника (1) и заглушки (9) к оболочке твэла. Верхний наконечник дуговой сваркой в инертной среде приваривается к незаполненной топливом оболочке («труба в сборе»). Заглушка приваривается к оболочке после снаряжения последней топливным сер-

дечником и заполнения гелием дугой, управляемой магнитным полем. Дистанционирование твэлов в ТВС осуществляется с помощью эллиптической проволоки (7) размером $1,3 \times 0,4$ мм, навитой на оболочку с шагом 100 мм.

Условия эксплуатации твэлов

| | |
|--|---------------------|
| Максимальный флюенс нейтронов ($E > 0,1$ МэВ), см^{-2} | $4,7 \cdot 10^{22}$ |
| Назначенный ресурс работы твэлов на мощности 2 МВт: | |
| а) эффективные сутки | 2000 |
| б) календарные сутки | 7000 |
| Максимальное выгорание тяжелых атомов в топливе, %, не менее | 9,0 |
| Максимальная температура оболочки, °С | 400 |
| Номинальная температура Na на входе в ТВС, °С | 290 |
| Максимальная температура Na на выходе из ТВС, °С | 380 |
| Общий срок эксплуатации твэлов, лет | 19–20 |

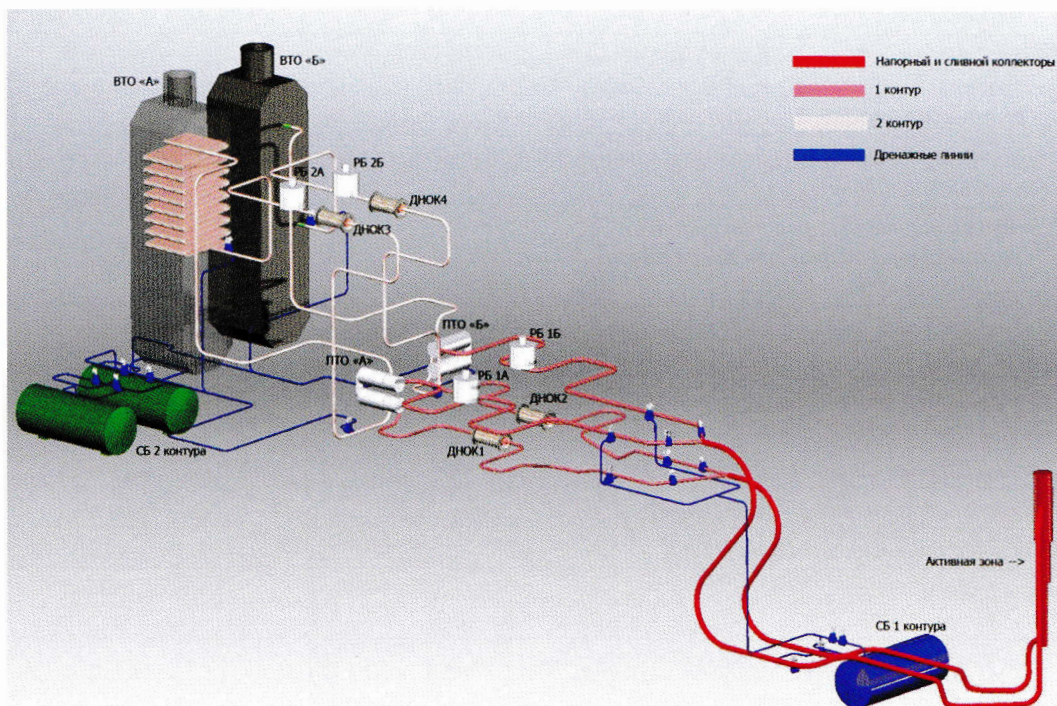
Система охлаждения реактора

Охлаждение активной зоны реактора ИБР-2М осуществляется системой натриевого охлаждения реактора. Система охлаждения реактора 2-х петлевая, 3-х контурная. Петли 1-го и 2-го контуров работают параллельно, каждая рассчитана на съем 50% мощности реактора. Петли 1-го контура могут отсекаются вентилями одна от другой. Натрий 1-го контура подается на вход активной зоны двумя электромагнитными насосами (1ДНОК и 2ДНОК), установленными на «холодной» стороне контура. Направление потока теплоносителя через активную зону принято снизу вверх, что облегчает переход на естественную циркуляцию в случае полной потери электропитания. Приняв тепло от активной зоны, натрий, выйдя из реактора, разделяется на две петли и проходит через промежуточные межконтурные теплообменники «натрий-натрий» (ПТО «А» и ПТО «Б»), где отдает тепло натрию 2-го контура. Нагретый в межконтурном теплообменнике натрий 2-го контура поступает в воздушный теплообменник (ВТО «А» и ВТО «Б»), где охлаждается воздухом за счет естественной тяги. Отдав тепло в воздушном теплообменнике, натрий вновь подается в промежуточный межконтурный теплообменник «натрий-натрий» электромагнитным насосом (3ДНОК и 4ДНОК). Давление натрия 1-го контура ниже давления натрия 2-го контура, что исключает попадание «грязного» натрия из 1-го контура во 2-й в случае протечек в промежуточном теплообменнике.

Для компенсации температурных расширений натриевого теплоносителя в каждой петле 1-го и 2-го контуров установлены расширительные баки (РБ «А» и РБ «Б»). В случае необходимости дренирования натрия предусмотрены сливные баки: один сливной бак СБ для первого контура и сливные баки СБ «А», СБ «Б» на каждой петле 2-го контура. Для обеспечения работы реактора и основных контуров предусмотрены вспомогательные системы, к которым относятся газовакуумная система, использующая в качестве рабочей среды аргон высокой чистоты и обеспечивающая поддержание инертной атмосферы выше уровней жидкого металла, и система фильтрации и индикации, служащая для поддержания чистоты теплоносителя. Система индикации предназначена для количественной оценки содержания окислов в теплоносителе, система фильтрации служит для очистки натриевого теплоносителя от механических примесей и окислов.

Поддержание натриевого теплоносителя в расплавленном состоянии при работе реактора в режиме временного останова обеспечивается системой разогрева натрия, основными компонентами которой являются электронагреватели в виде нихромовой проволоки в бусах,

которые накладываются на оборудование и трубопроводы системы охлаждения реактора, и система управления нагревателями.



Система охлаждения реактора

Основные технические характеристики ИЯУ ИБР-2 после модернизации

| | |
|---|------------------------------|
| Мощность ИЯУ (тепловая), МВт | 2 |
| Теплоноситель: | |
| — 1-й контур | жидкий натрий |
| — 2-й контур | жидкий натрий |
| Отражатель | подвижный гетерогенного типа |
| Вид используемого замедлителя | без замедлителя |
| Максимальное рабочее давление теплоносителя, МПа: | |
| — в I контуре | 0,26 |
| — во II контуре | 0,30 |
| Расход теплоносителя, м ³ /ч: | |
| — 1-й контур | 45,0–50,0 по петле |
| — 2-й контур | 45,0–50,0 по петле |
| Скорость потока теплоносителя в активной зоне, м/с | 1,45–1,88 |
| Максимальная температура теплоносителя на выходе из активной зоны, °С | 380 |
| Обогащение топлива по ²³⁹ Pu, % | 95 |

| | |
|--|---|
| Выгорание топлива по ^{239}Pu , %: — среднее — максимальное | по факту 9 |
| Энергонапряженность активной зоны, кВт/л: — средняя — максимальная | 100 161 |
| Максимальная плотность теплового потока на поверхности твэла на начало/конец кампании, кВт/м ² | 64,2/65,5 |
| Средняя плотность потока нейтронов, см ⁻² ·с ⁻¹ : — тепловых (на поверхности замедлителя) — быстрых (в активной зоне) | 3,88·10 ¹² 1,76·10 ¹⁴ |
| Средняя пиковая плотность потока быстрых нейтронов в активной зоне, см ⁻² ·с ⁻¹ | 1,61·10 ¹⁷ |
| Максимальная пиковая плотность потока быстрых нейтронов в активной зоне, см ⁻² ·с ⁻¹ | 2,59·10 ¹⁷ |
| Число тепловыделяющих сборок (ТВС) | 69 |
| Число органов аварийной защиты (АЗ) | 2 |
| Число органов регулирования (РО) | 4 |
| Конструкция ТВС | шестигранная чехлового типа |
| Число экспериментальных каналов | 14 |
| Число каналов пневмотранспортной установки «Регата» | 2 |
| Импульсный режим: — число делений в импульсе — длительность между импульсами, мс — полуширина импульса, мкс — пиковая мощность, МВт — средняя энергия нейтронов, МэВ | 1,15·10 ¹⁶ 200 200 1830 1,28 |
| Стационарный режим: — мощность, Вт — плотность потока нейтронов в статическом режиме, см ⁻² ·с ⁻¹ | 10 8,8·10 ⁸ |

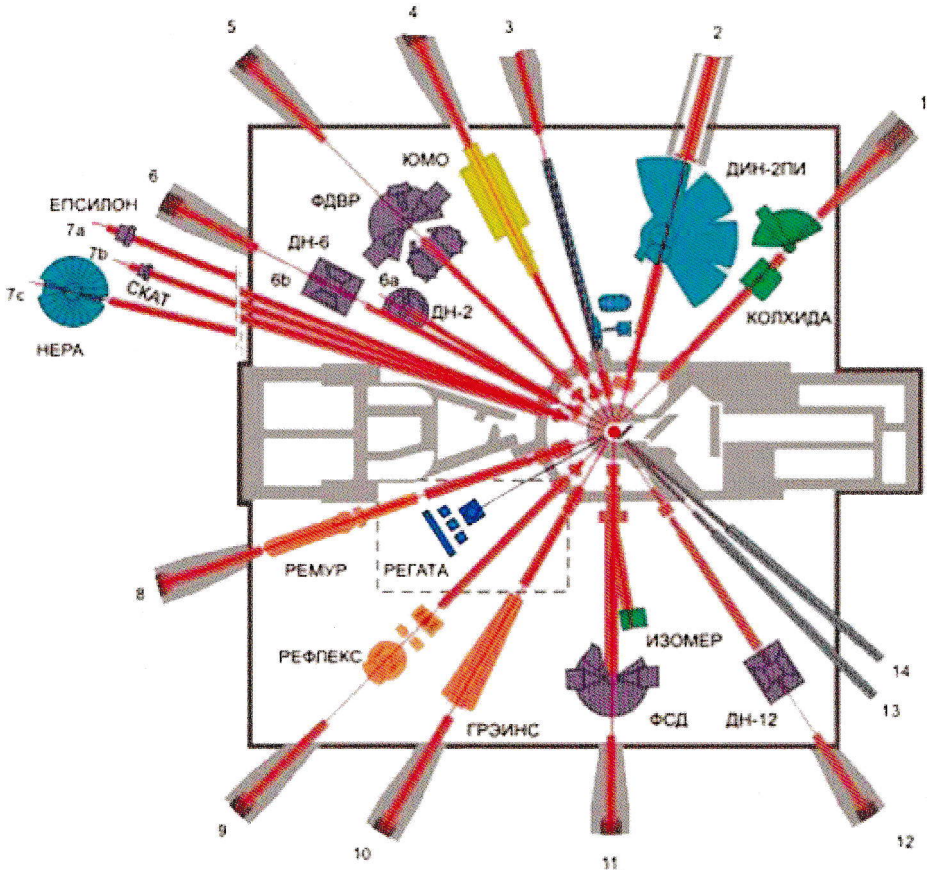
Экспериментальные возможности

Для реализации научной программы на установке ИБР-2 создан комплекс из 12 спектрометров — современных приборов, позволяющих использовать практически все преимущества нейтронов при структурных исследованиях. Это оригинальные отечественные разработки, некоторые из них открывают новые возможности для современных установок. На ИЯУ ИБР-2 проводятся нейтронографические исследования по физике конденсированных сред с использованием основных четырех методик: дифракции, малоуглового рассеяния, неупругого рассеяния и оптики с поляризованными нейтронами. Распределение времени на эксперименты на спектрометрах реактора производится с учетом рекомендаций экспертов по поступившим заявкам и имеющимся долгосрочными обязательствами.

Циклы работы ИЯУ ИБР-2 проводятся в соответствии с ежегодным Расписанием работы установки ИБР-2. Экспериментальные работы по конкретной научной теме с указа-

нием времени работы и состава бригад на выведенных пучках проводятся в соответствии с Расписанием работ на пучках ИБР-2М, составляемым и утверждаемым на каждый цикл работы.

В экспериментальные залы реактора выведены 14 нейтронных пучков, на которых располагаются физические установки. ИЯУ ИБР-2 обладает наиболее развитым парком спектрометров среди других нейтронных источников в России. В настоящее время в распоряжении экспериментаторов для исследований по физике твердого тела находятся 12 спектрометров.



Экспериментальные установки ИЯУ ИБР-2

Характеристики экспериментальных установок ИЯУ ИБР-2

| Спектрометры | Предмет исследования | Разрешение спектрометров | Средний поток нейтронов на образце |
|--|---|--|--|
| 1. Эксперименты по нейтронной дифракции | | | |
| 1. Дифрактометр по времени пролета ДН-2. | Структура кристаллов. Фазовые переходы. Переходные процессы | $\Delta d/d$ — от 10^{-2} до 10^{-1} | до 10^7 см ² ·с ⁻¹ , диапазон длин волн нейтронов λ — от 1,2 до 20 Å |

| Спектрометры | Предмет исследования | Разрешение спектрометров | Средний поток нейтронов на образце |
|--|--|--|---|
| 2. Фурье-дифрактометр высокого разрешения ФДВР | Прецизионный структурный анализ | $\Delta d/d$ — до 10^{-3} | $10^7 \text{ см}^2 \cdot \text{с}^{-1}$, диапазон длин волн нейтронов λ — от 0,7 до 16 Å |
| 3. Дифрактометр по времени пролета ДН-12 | Структурные и магнитные фазовые переходы под высоким давлением | $\Delta d/d$ — от $1,2 \cdot 10^{-2}$ до $2,2 \cdot 10^{-2}$ | $2 \cdot 10^6 \text{ см}^2 \cdot \text{с}^{-1}$, диапазон длин волн нейтронов λ — от 0,8 до 10 Å |
| 4. Текстуриный дифрактометр СКАТ | Измерения напряжений деформации и текстуры промышленных изделий и горных пород | $\Delta d/d$ — от $3,1 \cdot 10^{-3}$ до $6,2 \cdot 10^{-3}$ | $10^6 \text{ см}^2 \cdot \text{с}^{-1}$, диапазон длин волн нейтронов λ — от 7 до 14,6 Å |
| 5. Дифрактометр ЭПСИЛОН | Измерения напряжений деформации и текстуры промышленных изделий и горных пород | $\Delta d/d$ — до $4 \cdot 10^{-3}$ | $10^6 \text{ см}^2 \cdot \text{с}^{-1}$, диапазон длин волн нейтронов λ — от 0,8 до 7,6 Å |
| 6. Дифрактометр ДН-6 | Исследование атомной и магнитной структуры конденсированных сред под воздействием высоких давлений и низких температур | $\Delta d/d$ — до $1,5 \cdot 10^{-2}$ | от 10^7 до $2 \cdot 10^7 \text{ см}^2 \cdot \text{с}^{-1}$, диапазон длин волн нейтронов λ — от 4 до 13 Å |
| 2. Эксперименты по малоугловому рассеянию нейтронов | | | |
| 7. Спектрометр ЮМО | Степень полидисперсности; агрегационное число, молекулярный вес | $\Delta Q/Q$ — от $5 \cdot 10^{-2}$ до $2 \cdot 10^{-1}$ | от 10^7 до $4 \cdot 10^7 \text{ см}^2 \cdot \text{с}^{-1}$, диапазон переданных импульсов Q — от $7 \cdot 10^{-3}$ до $0,5 \text{ Å}^{-1}$ |
| 3. Эксперименты по неупругому рассеянию нейтронов | | | |
| 8. Спектрометр прямой геометрии ДИН-2ПИ | Исследования жидких металлов и жидкометаллических систем с примесями | $\Delta E/E$ — от $4 \cdot 10^{-2}$ до 10^{-1} | до $1,5 \cdot 10^3 \text{ см}^2 \cdot \text{с}^{-1}$, интервал передач энергии — от 1 до 300 мэВ |
| 9. Спектрометр высокого разрешения НЕРА-ПР | Динамика и структура конденсированного состояния, в частности, вещества, обладающие полиморфизмом | $\Delta E/E$ — от $1 \cdot 10^{-2}$ до 10^{-1} | до $4 \cdot 10^6 \text{ см}^2 \cdot \text{с}^{-1}$, интервал передач энергии — от 0 до 200 мэВ |
| 4. Эксперименты по нейтронной оптике | | | |
| 10. Спектрометр поляризованных нейтронов РЕМУР | Магнитные неоднородности, домены, объемные наноструктуры | $\Delta \Theta/\Theta$ от $7 \cdot 10^{-4}$ до 10^{-2} | от 10^4 до $3 \cdot 10^4 \text{ см}^2 \cdot \text{с}^{-1}$, диапазон длин волн нейтронов λ — от 0,9 до 10 Å |
| 11. Нейтронный рефлектометр РЕФЛЕКС | Свойства поверхности и тонких пленок, исследования ядерной и магнитной структур поверхности | $\Delta \Theta/\Theta$ до $2 \cdot 10^{-2}$ | $10^5 \text{ см}^2 \cdot \text{с}^{-1}$, диапазон λ — от 0,5 до 10 Å |
| 12. Многофункциональный рефлектометр ГРЭЙНС | Рефлектометрия водородосодержащих поверхностей раздела, магнитные жидкости | $\Delta \Theta/\Theta$ до $5 \cdot 10^{-2}$ | до $2 \cdot 10^6 \text{ см}^2 \cdot \text{с}^{-1}$, диапазон λ — от 0,5 до 10 Å |

В настоящее время реактор ИБР-2М — самый высокопоточный в мире импульсный источник нейтронов для научных исследований. Более того, в мире до сих пор нет ему аналогов, и он играет роль полигона для отработки методов экспериментов на высокопоточных импульсных источниках нейтронов с большой длительностью импульса, тем самым влияя на стратегию развития источников нейтронов для физических исследований.

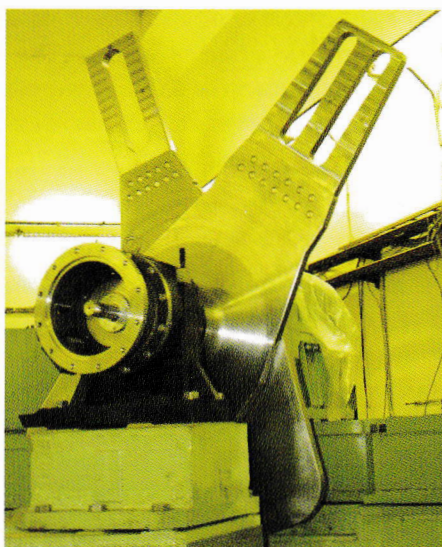
История

История создания исследовательского импульсного реактора ИБР-2 на быстрых нейтронах начинается с 23 июня 1960 г., когда в Объединенном институте ядерных исследований в подмосковном городе Дубна начал работать исследовательский реактор нового типа — периодического действия, или импульсный быстрый реактор ИБР-1. Идея этого реактора, суть которой состоит в импульсной генерации нейтронов с помощью быстрого вращения части активной зоны, была предложена Д. И. Блохинцевым в конце 1955 г. в Физико-энергетическом институте (ФЭИ) в Обнинске, где уже в начале 1956 г. И. И. Бондаренко и Ю. Я. Стависким было разработано теоретическое обоснование проекта. Успешная работа реактора ИБР и его модификации ИБР-30 стимулировали появление в середине 1960-х гг. нескольких аналогичных проектов в Европе и США.

В 1963 г. начались предварительные расчетные работы по обоснованию возможности создания значительно более мощного импульсного реактора, по своим нейтронным характеристикам для исследований методами рассеяния медленных нейтронов не уступающего 50–100 мегаваттным стационарным реакторам (HFR в ИЛЛ, Гренобль, SM-2 в НИИАР, Димитровград, ПИК в ПИЯФ, Гатчина). В ОИЯИ новый реактор с проектной мощностью 4 МВт под названием ИБР-2 был построен к 1977 г. с участием НИКИЭТ, ГСПИ, ВНИИНМ и других институтов и организаций СССР и стран-участниц ОИЯИ.

Физический пуск реактора ИБР-2 без теплоносителя был проведен с 1 ноября 1977 г. по 30 марта 1978 г. Энергетический пуск реактора был проведен в два этапа: I этап — с 2 ноября 1980 г. по 30 января 1981 г., II этап — с декабря 1981 г. по июнь 1983 г. Штатная эксплуатация ИЯУ ИБР-2 началась после ввода в эксплуатацию 10 февраля 1984 г. В дальнейшем среднюю мощность решили ограничить 2-мя мегаваттами для обеспечения предельно возможной ядерной безопасности и надежности установки, а длительность импульса оказалась равной 216 мкс вместо проектного значения 90 мкс. Но и с этими параметрами ИБР-2 стал и остается одним из наиболее эффективных импульсных источников медленных нейтронов для исследования конденсированных сред.

Принципиальным отличием ИБР-2 от серии реакторов данного типа стало использование подвижного отражателя нейтронов, обеспечивающего периодическую модуляцию реактивности и соответственно генерации импульсов мощности реактора. Модулятор реактивности имеет две лопасти — основной модулятор реактивности МРО и дополнительный модулятор реактивности МРД, вращающиеся с большой скоростью: МРО — 1500 об/мин., МРД — 300 об/мин. В течение периода — с 1984 г. по 2006 г. — ИЯУ ИБР-2 эксплуатировалась в качестве источника нейтронов для научных исследований во многих областях физики с применением метода спектрометрии по времени пролета. В 2004 г. была проведена плановая замена модулятора реактивности (подвижного отражателя) ПО-2Р, отработавшего свой ресурс, на модулятор реактивности решетчатого типа ПО-3, конструкция которого позволила уменьшить скорость вращения лопасти МРО до 600 оборотов в минуту.

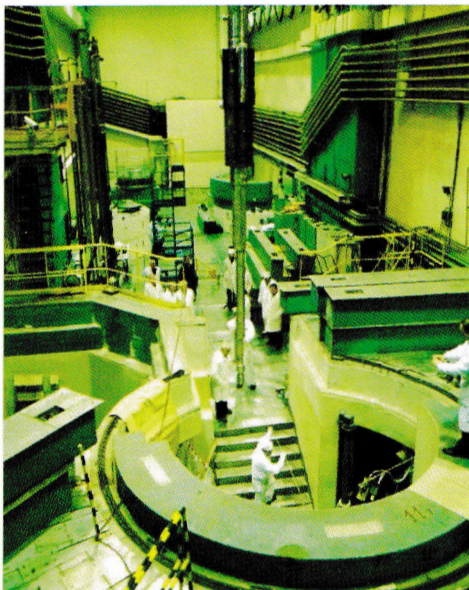


Подвижный отражатель ПО-3

Исследовательская ядерная установка ИБР-2 с импульсным реактором на быстрых нейтронах, введенная в эксплуатацию в феврале 1984 г., к началу 2014 г. достигла бы 30-летнего срока эксплуатации. Кроме того, к 2007 г. после успешной 20-летней работы для реактора ИБР-2 были достигнуты ресурсные ограничения по выгоранию топлива и флюенсу на корпус реактора. В связи с этим эксплуатирующей организацией и научным руководителем — ОИЯИ, главным конструктором — НИКИЭТ и генеральным проектировщиком — ГСПИ в 1999 г. разработана «Концепция модернизации ИБР-2 на период до 2010 г.», в соответствии с которой с 2007 г. по 2010 г. были проведены работы по обновлению основного реакторного оборудования ИЯУ ИБР-2 с целью улучшения основных параметров реактора, повышения безопасности и эксплуатационной надежности реактора.

В период модернизации установки ИБР-2 были проведены работы по замене на новое основное оборудование систем важных для безопасности.

| Наименование оборудования | Ввод в эксплуатацию | Назначенный срок службы, лет |
|--|---------------------|------------------------------|
| Корпус реактора ИБР-2М | 2009 г. | 25 |
| Откатные защиты со стационарными отражателями | 2009 г. | 25 |
| СУЗ ИБР-2М, включая рабочие органы управления и защиты и приводы РО | 2010 г. | 25 |
| Водяные замедлители с откатными тележками, водяной замедлитель, наклонный, водяной замедлитель за ПО | 2009 г. | 25 |
| Система контроля технологических параметров | 2010 г. | 10 |
| Комплекс аппаратуры системы управления и защиты ИЯУ ИБР-2 | 2010 г. | 30 |
| Система разогрева натрия (после модернизации) | 2011 г. | 10 |
| Система контроля течи натрия | 2008 г. | 10 |
| Система надежного питания | 2010 г. | 30 |
| Система внешнего электроснабжения (кабельные вводы 10 кВ) | 2011 г. | 25 |
| Модулятор реактивности ПО-3 | 2004 г. | 50 000 час. |



Установка корпуса реактора ИБР-2М на штатное место

Кроме того, в рамках развития комплекса криогенных замедлителей ИБР-2М разработан технический проект криогенного замедлителя КЗ-202. Использование холодных нейтронов особенно важно для исследований в области нано- и биологических наук.

Наряду с обновленным реакторным оборудованием на ИЯУ ИБР-2 эксплуатируется оборудование и системы, не подлежащие замене. Без изменений сохраняются здание реактора, его биологическая защита, обеспечивающие и технологические системы реактора (в том числе, оборудование системы охлаждения реактора), шахта реактора, другие строительные конструкции комплекса ИБР-2. Сохранена принципиальная концепция системы контроля и управления реактора с усовершенствованием некоторых ее параметров.



Загрузка активной зоны реактора ИБР-2М

В период с 2007 г. по 2013 г. в соответствии с «Требованиями к обоснованию возможности продления назначенного срока эксплуатации объектов использования атомной энергии НП-024–2000» проведено комплексное обследование систем и элементов, важных для безопасности ИЯУ ИБР-2, для которых срок службы не установлен, либо ресурс исчерпан, с целью определения остаточного ресурса и оценки возможности продолжения эксплуатации оборудования ИЯУ ИБР-2. Результаты комплексного обследования технического состояния и оценка остаточного ресурса оборудования и систем ИЯУ ИБР-2, важных для безопасности, показали возможность продления ее срока эксплуатации до 2022 г. включительно.

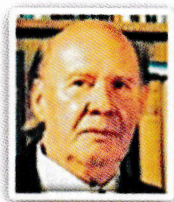
В результате проведенной модернизации систем и оборудования установки ИБР-2 улучшены основные потребительские параметры реактора, повышена его безопасность и эксплуатационная надежность, учтены требования действующей НД по безопасности.

Физический пуск реактора ИБР-2М был проведен с 17 декабря 2010 г. по 9 июня 2011 г. Работа по программе физического пуска проводилась в трех режимах:

- режим набора критической массы (загрузка активной зоны);
- режим стационарной мощности на уровне 0,1–20 Вт;
- импульсный режим с частотой 5 Гц при средней мощности до 100 кВт.

Энергетический пуск реактора ИБР-2М начался 5 июля 2011 г. и был завершён 28 октября 2011 г. В течение этого периода в соответствии с программой энергетического пуска был выполнен цикл экспериментов в импульсном режиме работы реактора на частоте 5 Гц на различных уровнях средней мощности: 500, 1000, 1500, 2000 кВт.

Персоны



Блохинцев Дмитрий Иванович

Инициатор создания Объединенного института ядерных исследований в Дубне, где был избран первым его директором, с 1965 г. — директор Лаборатории теоретической физики ОИЯИ. Выдвинул идею и построил импульсные быстрые реакторы ИБР-1 и ИБР-2.



Франк Илья Михайлович

Один из руководителей строительства импульсных реакторов периодического действия ИБР-1, ИБР-30 с инжектором и ИБР-2, что позволило ученым созданной им Лаборатории нейтронной физики получить ряд новых результатов в исследованиях физики ядра и конденсированных сред. В период 1988–1990 гг. — почетный директор Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ, в настоящее время являющейся одним из ведущих в мире научных центров нейтронных исследований.



Бабаев Алексей Иванович

Непосредственный участник создания реактора ИБР-2. В качестве заместителя главного инженера ИБР-2 успешно руководил работами, связанными со сборкой ТВС, загрузкой активной зоны реактора, пусконаладочными работами при физическом и энергетическом пусках реактора. С 1 января 2003 г. переведен на должность ведущего инженера по управлению технологическим оборудованием реактора и выполнял работы, связанные с модернизацией реактора ИБР-2. Под его руководством в 2004–2006 гг. велись работы по созданию участка сборки ТВС для модернизированного реактора ИБР-2М и изготовлению ТВС ИБР-2М. В 2006 г. присвоено звание «Почетный сотрудник ОИЯИ».



Ананьев Владимир Дмитриевич

Участвовал в работах по созданию и пуску импульсного реактора на быстрых нейтронах ИБР-1, импульсного бустера ИБР-1 в должности инженера, старшего инженера, начальника смены. В 1966–1986 гг. работал в должности главного инженера реактора ИБР-2: физический и энергетический пуск реактора ИБР-2, эксплуатация реактора при работе на физический эксперимент. С 1986–2007 гг. — главный инженер ЛНФ. Руководитель проекта модернизации реактора ИБР-2 (разработка концепции модернизации ИБР-2, реализация проекта модернизации), физического и энергетического пусков модернизированного реактора ИБР-2М. В настоящее время советник при дирекции ЛНФ.

Контакты

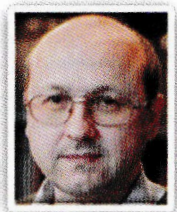


Швецов Валерий Николаевич

Директор ЛНФ

Тел.: +7(496)216-59-25. Факс: +7(496)216-54-29.

E-Mail: shv@nf.jinr.ru



Виноградов Александр Витальевич

Главный инженер ЛНФ

Тел.: +7(496)216-51-86. Факс: +7(496)216-54-29.

E-Mail: alvin@nf.jinr.ru



Долгих Андрей Вячеславович

Главный инженер ИБР-2

Тел.: +7(496)216-68-65. Факс: +7(496)216-51-19.

E-Mail: avdol@nf.jinr.ru



Руденко Сергей Владимирович

Заместитель главного инженера ИБР-2

Тел.: +7(496)216-21-97. Факс: +7(496)216-51-19.

E-Mail: rudenko@nf.jinr.ru