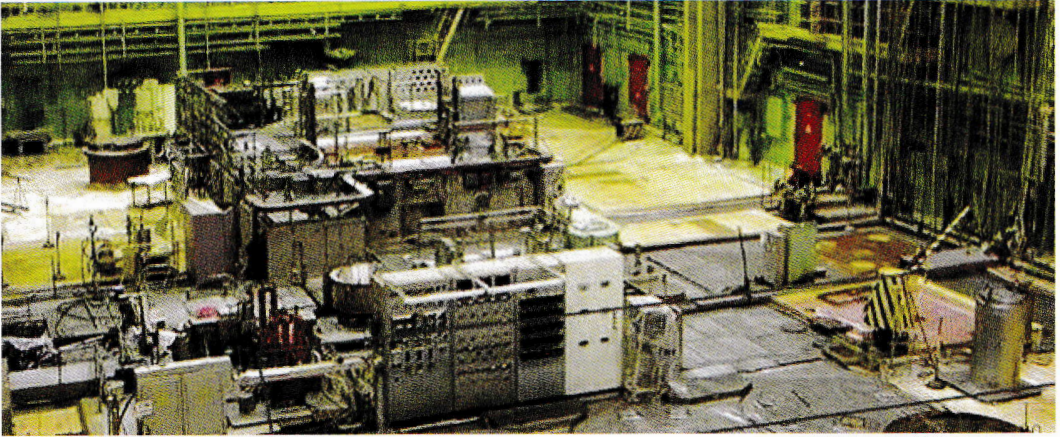


## ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ РЕАКТОР РБТ-6

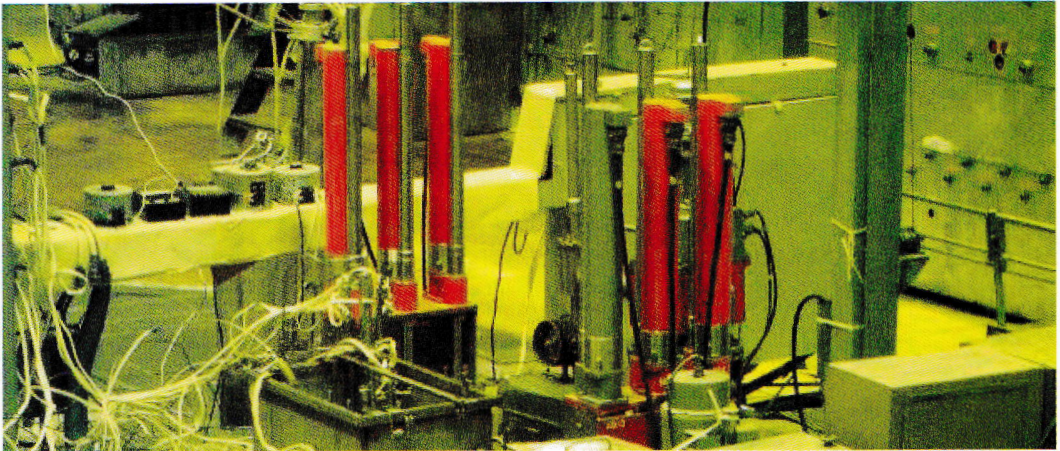
Исследовательский реактор РБТ-6 является реактором-спутником высокопоточного реактора СМ-3, использует его отработавшее топливо и представляет собой бассейновый водо-водяной реактор на тепловых нейтронах. Физический пуск реактора РБТ-6 состоялся 24.09.1975 г., энергетический пуск — 29.12.1976 г.

Реактор РБТ-6 предназначен для проведения экспериментов по изучению свойств материалов в процессе длительного облучения при постоянных параметрах и режимах облучения, а также для наработки радионуклидных продуктов.

Спецификой технического проекта ИР РБТ-6 является то, что сооружение реактора осуществлялось в здании, где располагалась действующая реакторная установка СМ-3.



Центральный зал ИР СМ-3 и РБТ-6



Электроприводы рабочих органов СУЗ

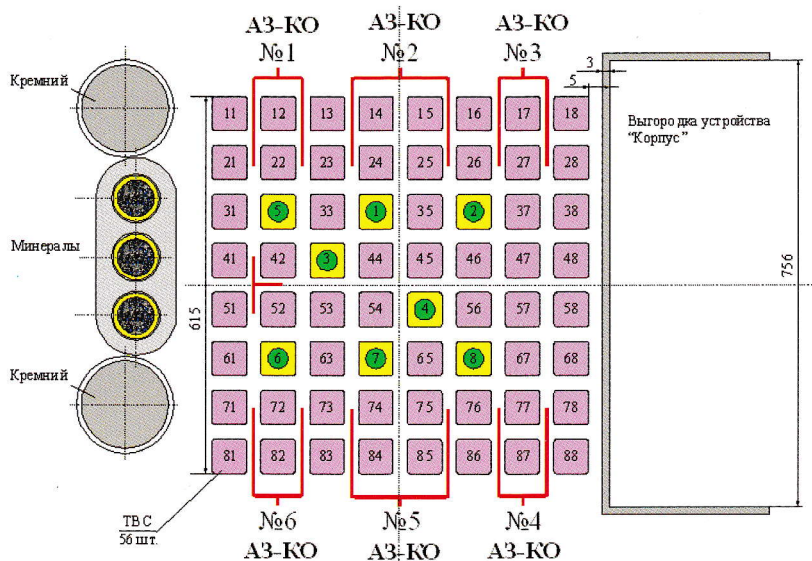
Реакторные установки РБТ-6 и СМ-3 имеют общий центральный зал, многие системы реакторов являются совместными.

Реактор РБТ-6 существенной модернизации не подвергался, но работы по увеличению надежности и улучшению его отдельных узлов и элементов проводятся постоянно с целью повышения безопасности его эксплуатации.

Основные технические характеристики реактора РБТ-6

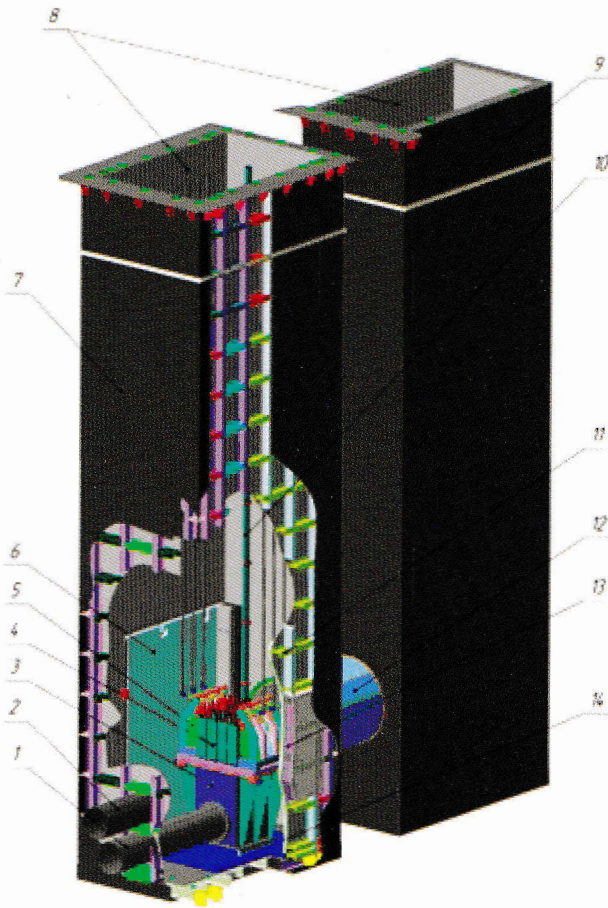
|  |   |
|--|---|
| Мощность тепловая проектная, макс., МВт  | 6   |
| Форма и размеры активной зоны  | прямоугольный параллелепипед с квадратным основанием 620                  |
| Объем активной зоны, л   | 132   |
| Количество ячеек для ТВС   | 56  |
| Ядерное топливо*   | UO <sub>2</sub> , диспергированный в матрице из меди и бериллиевой бронзы |
| Обогащение по <sup>235</sup> U, %  | до 90   |
| Теплоноситель  | вода  |
| Замедлитель  | вода  |
| Отражатель   | вода  |
| Количество органов СУЗ:<br>— АЗ-КО<br>— АР   | 6<br>1  |
| Поглощающий материал   | кадмий  |
| Расход теплоносителя по первому контуру, м <sup>3</sup> /ч   | 600   |
| Скорость теплоносителя в активной зоне, м/с  | 0,9   |
| Температура в реакторе, °С:<br>— на входе<br>— на выходе   | ≤ 60<br>≤ 70  |
| Коэффициенты неравномерности энерговыделения, не более:<br>— по высоте активной зоны<br>— по сечению активной зоны<br>— по сечению ТВС<br>— объемный | 1,17<br>1,94<br>1,75<br>4,00  |

\* — используются «свежие» и отработавшие ТВС реактора СМ-3.



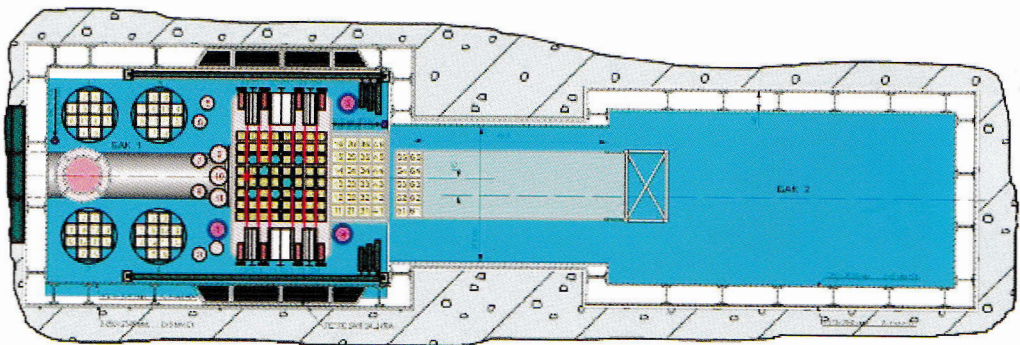
Картограмма активной зоны ИР РБТ-6





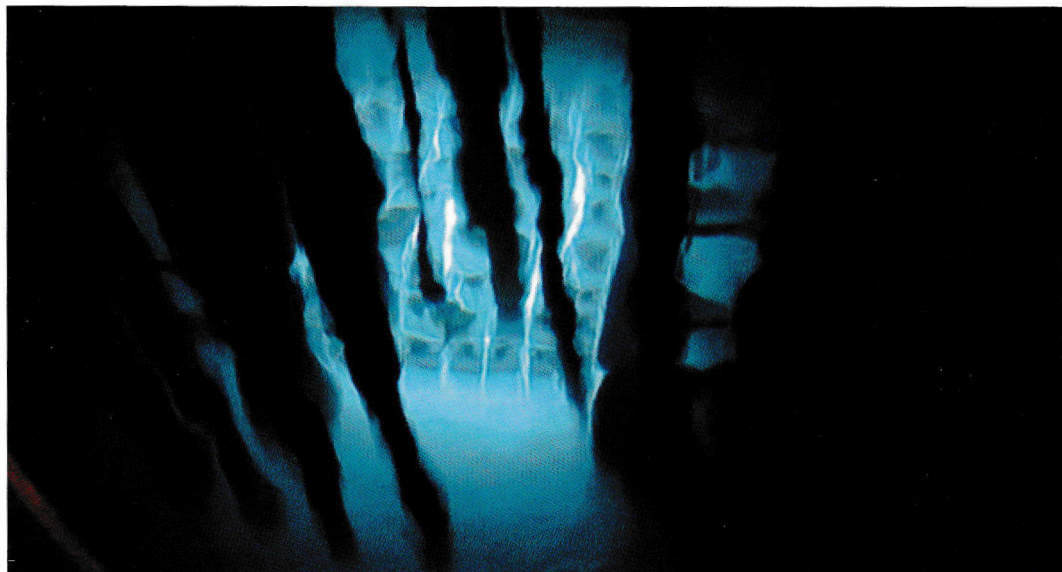
Баки реактора РБТ-6: 1 — трубопровод выхода теплоносителя из реактора; 2 — трубопровод входа теплоносителя в реактор; 3 — опорная конструкция активной зоны; 4 — тепловыделяющая сборка (ТВС); 5 — рабочий орган АЗ-КО; 6 — основная боковая защита; 7 — бак реактора (бак № 1); 8 — внутренняя поверхность баков; 9 — бак реактора (бак № 2); 10 — переливная труба; 11 — двутавр; 12 — перемычка; 13 — дополнительная боковая защита; 14 — нижняя тепловая защита.

Бассейн реактора состоит из двух одинаковых баков: № 1 и № 2, соединенных между собой перемычкой  $\varnothing$  1000 мм.



Поперечный разрез реактора РБТ-6

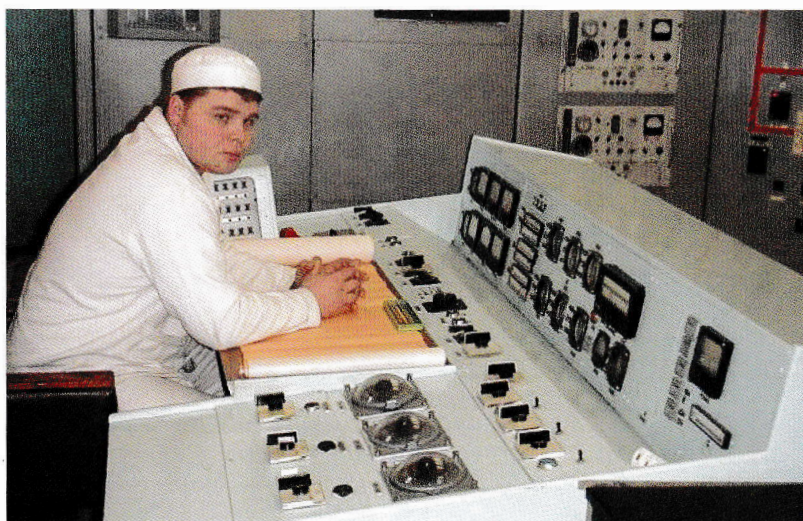
Активная зона реактора размещается в баке № 1, который представляет собой прямоугольную емкость с двойной стенкой и заполнен дистиллятом. Внутренняя стенка бака — нержавеющая сталь толщиной 8 мм, наружная — углеродистая сталь толщиной 6 мм.



Вид на активную зону реактора РБТ-6

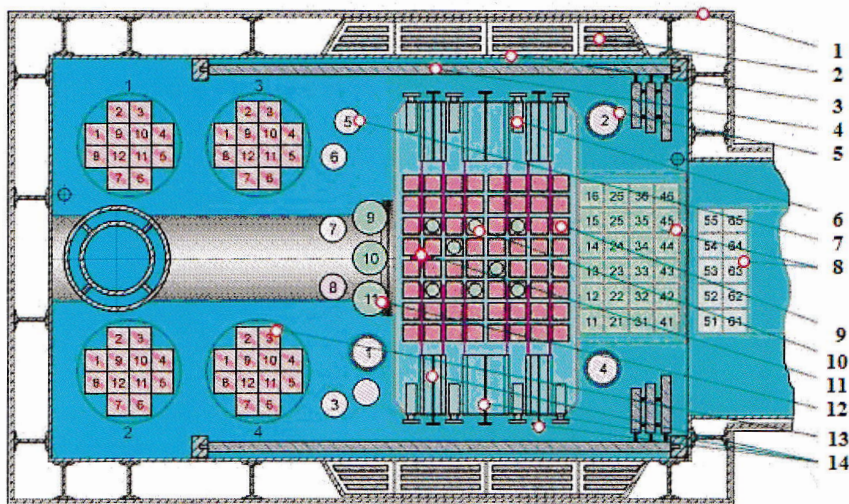
Активная зона собирается путем установки ТВС в опорной решетке, представляющей собой сварную конструкцию на основе двух горизонтальных плит, в которых выполнены 64 отверстия, формирующих в плане квадратную решетку ячеек (8×8) с шагом 78 мм.

Зазоры между ТВС использованы для размещения в них регулирующих устройств АЗ-КО.

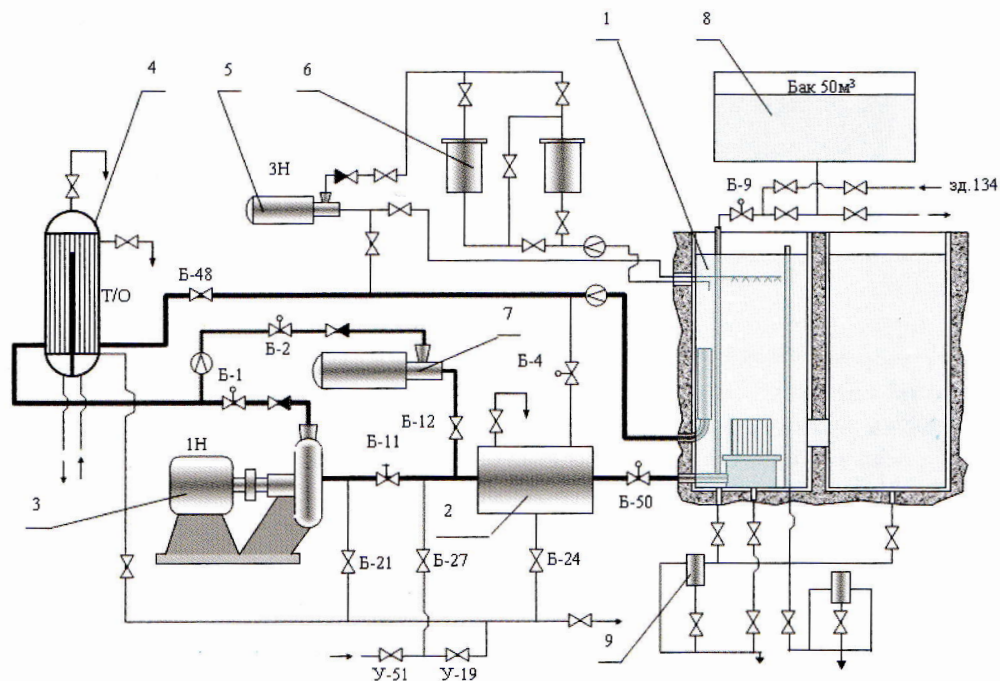


Пульт управления реактором РБТ-6



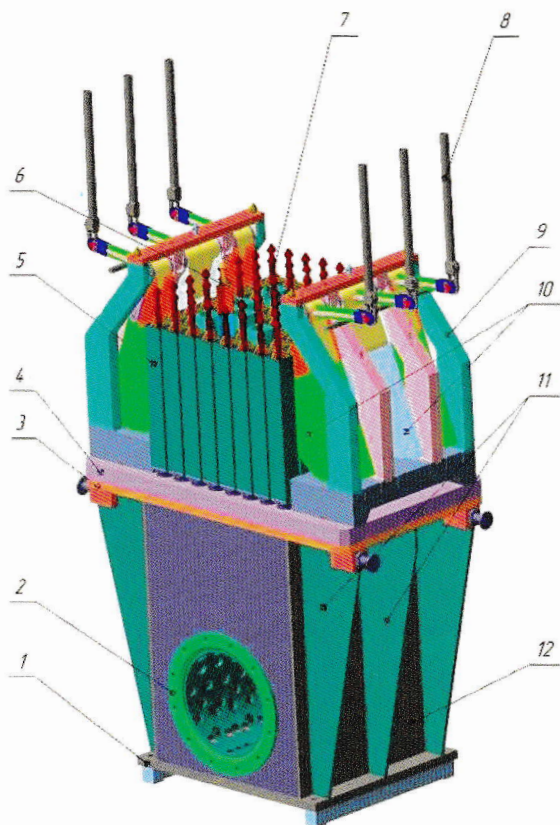


Картограмма бака № 1 реакторной установки РБТ-6: 1 — наружная поверхность бака; 2 — дополнительная боковая защита; 3 — внутренняя поверхность бака; 4 — основная боковая защита; 5 — защитный экран ионизационной камеры; 6 — стойка АЗ-КО; 7 — ионизационная камера без экрана; 8 — ячейки облучательного устройства «Корпус»; 9 — тепловыделяющая сборка; 10 — канал облучения (зонный); 11 — орган АР; 12 — канал облучения (периферийный); 13 — кассета для отработавших ТВС; 14 — секции АЗ-КО



Принципиальная схема первого контура реактора: 1 — бассейн реактора; 2 — гаситель кислородной активности; 3 — основной насос; 4 — теплообменник; 5 — насос спецшести; 6 — колонки спецшести; 7 — аварийный насос; 8 — подпиточный бак; 9 — бачок сигнализатор

В реакторе РБТ-6 используются ТВС двух типов. Сборка первого типа содержит 188 твэлов. Конструкция ТВС второго типа позволяет проводить в них облучение в активной зоне экспериментальных мишеней, которые загружаются в 4 специальных канала внутри трубок диаметром  $12,5 \times 0,3$  мм, установленных на место извлеченных  $4 \times 7 = 28$  твэлов. Таким образом, этот тип ТВС содержит 160 твэлов.



Опорная конструкция активной зоны:  
 1 — плита нижняя; 2 — фланец; 3 — плита корпуса; 4 — плита съемная; 5 — рабочая ТВС; 6 — стержень АР; 7 — вытеснитель; 8 — тяга АЗ-КО; 9 — стойка АЗ-КО; 10 — секции АЗ-КО; 11 — ребра жесткости; 12 — стенка корпуса

### Экспериментальные возможности реактора РБТ-6

Основные облучательные каналы реактора (восемь вертикальных каналов) размещены в нейтронных ловушках активной зоны. Изменение состава среды в каналах (газ, вода) или в зазорах между ними и тепловыделяющими сборками (установка вытеснителей) позволяет менять жесткость спектра нейтронов в зависимости от задач эксперимента. Вытеснители могут быть выполнены из различных материалов (алюминий, свинец, бериллий) и разного размера. В частности, канал может устанавливаться в активную зону без вытеснителя.

### Плотность потока нейтронов ( $\Phi$ ) в облучательных каналах активной зоны РБТ-6

| № канала | Среда заполнения канала | $\Phi, 10^{13} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ |           |
|----------|-------------------------|---|-----------|
|          |                         | < 0,67 эВ   | > 0,1 МэВ |
| 1        | Газ                     | 6,1   | 5,6       |
|          | Вода                    | 22  | 4,2       |



| № канала | Среда заполнения канала | $\Phi, 10^{13} \text{ см}^{-2}\cdot\text{с}^{-1}$ |                     |
|----------|-------------------------|---|---------------------|
|          |                         | $< 0,67 \text{ эВ}$                               | $> 0,1 \text{ МэВ}$ |
| 2        | Газ                     | 5,2   | 5,0                 |
|          | Вода                    | 19  | 3,6                 |
| 3        | Газ                     | 5,8   | 5,5                 |
|          | Вода                    | 20  | 4,1                 |
| 4        | Газ                     | 5,5   | 5,7                 |
|          | Вода                    | 21  | 4,2                 |
| 5        | Газ                     | 4,7   | 4,2                 |
|          | Вода                    | 17,5  | 3,0                 |
| 6        | Газ                     | 3,2   | 2,8                 |
|          | Вода                    | 11,0  | 2,0                 |
| 7        | Газ                     | 4,6   | 3,7                 |
|          | Вода                    | 16,2  | 2,4                 |
| 8        | Газ                     | 4,1   | 3,3                 |
|          | Вода                    | 15,0  | 2,2                 |

Три вертикальных канала большого диаметра (158 мм) могут быть размещены в отражателе реактора и использованы для получения легированного кремния.

В 2007 г. с целью расширения экспериментальных возможностей реактора разработано облучательное устройство для радиационного окрашивания минералов, которое размещено в отражателе реактора вместо трех каналов большого диаметра. При этом сохраняется возможность размещения двух каналов большого диаметра для получения легированного кремния.

#### Плотность потока нейтронов ( $\Phi$ ) в облучательных каналах отражателя РБТ-6

| Каналы                   | $\Phi, 10^{12} \text{ см}^{-2}\cdot\text{с}^{-1}$ |  |                       |
|--------------------------|---|--|-----------------------|
|                          | $E < 0,5 \text{ эВ}$                              | $0,5 \text{ эВ} < E < 0,5 \text{ МэВ}$ | $E > 0,5 \text{ МэВ}$ |
| 1-й ряд ОУ «Корпус»      | 0,53  | 13,0                                   | 0,51                  |
| 2-й ряд ОУ «Корпус»      | 0,14  | 3,0                                    | 0,046                 |
| Канал для легирования Si | 22,0  | 5,2                                    | 0,75                  |

На реакторе имеется облучательное устройство «Корпус», которое предназначено для испытания корпусных сталей реакторов типа ВВЭР и PWR в условиях, моделирующих в широком диапазоне условия их эксплуатации по плотности и энергетическому спектру нейтронов, температуре облучения, по градиентам этих параметров и режимам изменения параметров во время эксплуатации.

Устройство выполнено из двух частей — стационарной части, размещаемой в баке № 1 рядом с активной зоной, и подвижной, придвигаемой к стационарной части из бака № 2 через перемычку  $\varnothing 1000$  мм между баками. Подвижная часть устройства смонтирована на специальной тележке, перемещаемой в горизонтальном направлении по направляющим рельсам.

#### Основные направления исследований

Основные направления исследований на реакторе — изучение механизмов радиационных повреждений существующих и перспективных конструкционных и поглощающих материалов.

В последнее время

- выполнен большой объем внутриреакторных исследований ползучести оболочечных труб из сплавов Э110 и Э635 при продольном растяжении и нагрузке давлением;
- проведены работы по испытаниям медных сплавов, используемых в проекте ИТЭР;
- по контракту с EDF проведены испытания корпусных сталей французских энергетических реакторов;
- производится обработка получения перспективных изотопов для использования в медицине ( $^{59}\text{Fe}$ );
- проведены опытные облучения минералов, продолжаютя опытно-экспериментальные работы по определению режимов облучения для радиационного окрашивания минералов.

### Международное сотрудничество

На исследовательском реакторе РБТ-6 проводятся исследования в сотрудничестве с МАГАТЭ, США, странами ЕС, СНГ и другими странами.

### Основная деятельность

Реактор РБТ-6 широко задействован в целой серии экспериментов как по реакторному материаловедению, так и по опытной наработке радиоизотопов.

По программе испытаний конструкционных материалов ТВС «Квадрат» выполнены реакторные релаксационные испытания образцов конструкционных материалов.

Продолжена подготовка реакторных испытаний с использованием нагружающих машин «Нейтрон» (разработка и изготовление ОУ, подготовка экспериментальных программ, обоснование безопасности проведения экспериментов).

В ближайшее время планируется:

- проведение реакторных испытаний материалов в ампульных устройствах при различных температурах и средах с внутриреакторным исследованием ползучести и радиационного роста;
- проведение нейтронно-активационного анализа и нейтронной радиографии;
- проведение испытаний конструкционных материалов для международного термоядерного реактора ИТЭР;
- проведение испытаний конструкционных материалов в ОУ «Корпус»;
- увеличение номенклатуры и объемов производства радионуклидной продукции ( $^{131}\text{Cs}$ ,  $^{131}\text{Ba}$ ,  $^{14}\text{C}$ ,  $^{60}\text{Co}$  и др.);
- создание каналов для ядерного легирования слитков кремния диаметром до 200 мм;
- создание радиационных технологий по трансмутации и изменению физико-химических свойств материалов для промышленного использования;
- стажировка и обучение студентов и аспирантов профильных специальностей (ядерная физика, атомные электрические станции и установки);
- обоснование безопасности использования ОТВС РУ СМ-3 с исходным содержанием в твэле 6 г  $^{235}\text{U}$ .

### История

Разработка проекта реактора была начата после утверждения 06.06.1969 г. решения о его сооружении председателем Государственного комитета по мирному использованию атомной энергии А. И. Петросянцем. Проект был завершен в 1973 г.

Реактор РБТ-6 существенной модернизации не подвергался, но работы по повышению надежности и улучшению его отдельных узлов и элементов проводятся постоянно, повышая тем самым безопасность эксплуатации реактора:



- август 1980 г. — реализована логическая схема аварийной защиты по скорости нарастания уровня мощности по структуре типа «2 из 3»;
- июль 1982 г. — для исключения превышения номинального значения мощности после достижения автоматного уровня дальнейшее ее увеличение осуществляется с помощью датчика мощности;
- июль 1987 г. — в цепи АЗ завели три прибора защиты по уровню мощности по схеме срабатывания «2 из 3» вместо технически устаревших приборов;
- июль 1987 г. — на площадке реактора смонтирована световая и звуковая сигнализация, предупреждающая персонал, ведущий перегрузку, о вводе в активную зону более двух органов АЗ-КО;
- август 1989 г. — в соответствии с требованиями Правил ПНАЭ Г-7-008-89 по арматуре второго контура чугунные задвижки заменены стальными;
- апрель 2009 г. — доработана схема управления приводами РО АЗ-КО, позволяющая обеспечить возможность разрыва цепи питания двигателей РО с пульта управления реактором.

В 1991–1992 гг. в связи с реконструкцией реактора СМ были проведены работы и по повышению безопасности реактора РБТ-6:

- произведена замена контрольно-измерительных приборов на более современные, обеспечено дублирование линий контроля наиболее важных технологических параметров;
- усовершенствована система СУЗ;
- изменена схема электроснабжения оборудования САОР, обеспечена его запитка от системы бесперебойного питания;
- сооружены две дизельные электростанции, автоматически включающиеся при потере внешнего электроснабжения;
- на линии первого контура установлена задвижка, обеспечивающая отсечение бассейна в случае разрыва напорного трубопровода;
- дренажная труба перелива бассейна оснащена электрифицированным вентилем, позволяющим исключить несанкционированное опорожнение бассейна.

### **Контакты**



*Сазонов Сергей Аркадьевич*

Главный инженер реакторов СМ-3, РБТ-6

Тел.: +7(842)356-56-55. Факс: +7(842)356-55-92.

E-mail: PAL@niiar.ru

## **ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ РЕАКТОР МИР.М1**

Материаловедческий исследовательский реактор МИР.М1 является уникальной многоцелевой установкой, на которой проводятся испытания конструкционных, топливных и поглощающих материалов, используемых и предполагаемых к применению в атомной отрасли.