

- экспериментальное и расчетно-экспериментальное обоснование ядерной, радиационной и экологической безопасности и надежности ядерных установок;
- работы по управлению сроком службы ядерных установок, мониторингу оборудования, конструкций, материалов активных зон ядерных установок и атомных станций;
- исследования по продлению срока службы ядерно-энергетических установок и объектов;
- конструирование и изготовление узлов транспортных ядерных энергетических установок, а также их стендов-прототипов и составных частей;
- производство изотопов технического и медицинского применения.

В составе реактора ИВВ-2М используются стенды и установки для испытаний топлива и макетов твэлов реакторных установок различного назначения с изучением выхода продуктов деления при облучении:

- каналы для изучения поведения конструкционных материалов;
- горизонтальные экспериментальные каналы, оборудованные нейтронными дифрактометрами и спектрометрами для исследования поликристаллических и монокристаллических материалов. Эксперименты проводятся в широком интервале температур, давлений и магнитных полей.

#### **Исследовательская ядерная установка ИРМ**

Тип ИЯУ	Название ИЯУ	Мощность тепловая, кВт	Год физического пуска	Состояние	Длительность эксплуатации, лет*
ИР	ИВВ-2М	15000,0	1966	Действующий	49

\* — на 2015 г.

### *ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ РЕАКТОР ИВВ-2М*

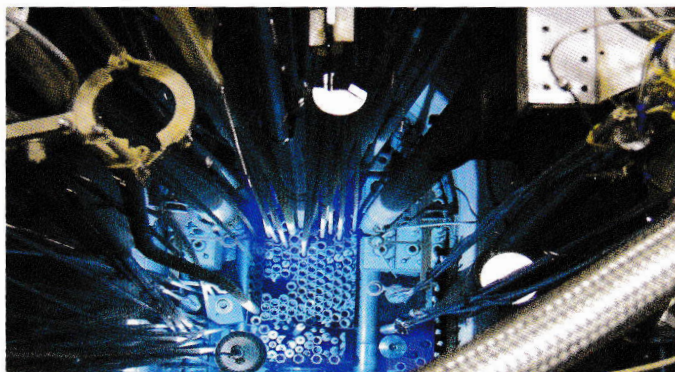
Многоцелевой исследовательский ядерный реактор ИВВ-2М — гетерогенный водяной реактор бассейнового типа, сооружен по разработанному АО «НИКИЭТ» проекту. Физический пуск ИВВ-2М состоялся 23 апреля 1966 г., энергетический — 18 октября 1966 г.



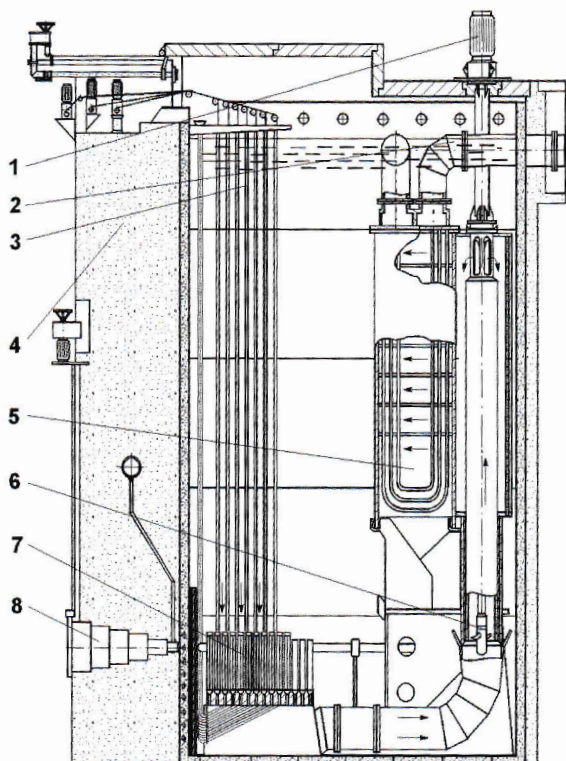
Центральный зал реактора ИВВ-2М

В 1975–1988 гг. была проведена реконструкция: установлены бак из коррозионно-стойкой стали, сталь-циркониевые переходники труб ГЭК и дополнительная верхняя биологическая защита; заменены опорная решетка активной зоны и отражателя, обечайка бака реактора, всасывающий трубопровод активной зоны и установлена система контроля герметичности оболочек твэлов; осуществлен переход на трубчатые ТВС типа ИВВ-2М с металлокерамическим топливом; заменены теплообменник реактора и насос первого контура; заменена СУЗ.

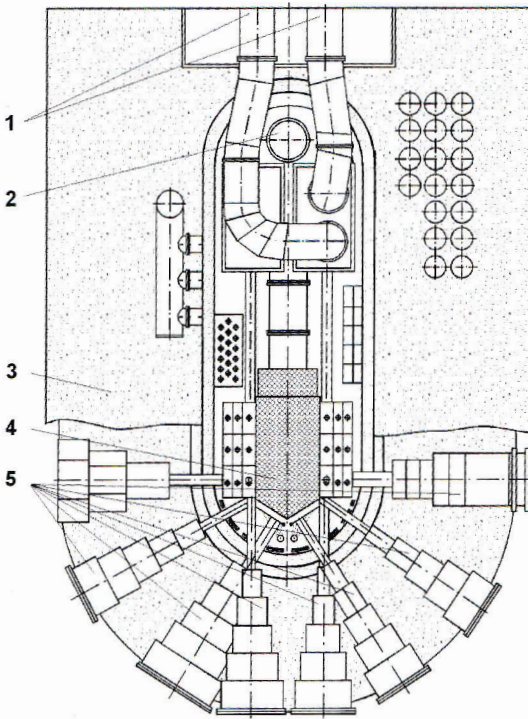
Реконструкция реактора позволила улучшить нейтронно-физические характеристики активной зоны, увеличить номинальную мощность реактора с 10 до 15 МВт и продлить ресурс эксплуатации ИЯР ИВВ-2М до 2025 г.



Вид активной зоны реактора ИВВ-2М



Конструкция реактора ИВВ-2М (вертикальное сечение): 1 — электродвигатель насоса; 2 — трубопровод второго контура охлаждения; 3 — приводы стержней регулирования; 4 — бетонный массив; 5 — теплообменник; 6 — насос; 7 — активная зона; 8 — горизонтальный экспериментальный канал



Конструкция реактора ИВВ-2М (горизонтальное сечение): 1 — трубопроводы второго контура охлаждения; 2 — теплообменник; 3 — бетонный массив; 4 — активная зона; 5 — горизонтальные экспериментальные каналы

### Основные технические характеристики ИВВ-2М

Мощность реактора, тепловая, МВт	15
Плотность потока нейтронов, макс., $\text{см}^{-2}\cdot\text{с}^{-1}$ :	
— тепловых	$5 \cdot 10^{14}$
— быстрых ( $E > 0,1 \text{ МэВ}$ )	$3 \cdot 10^{14}$
Высота активной зоны, мм	500
Диаметр активной зоны, эффективный, мм	500
Теплоноситель первого контура	вода
Теплоноситель второго контура	вода
Расход теплоносителя, $\text{м}^3/\text{ч}$ :	
— первого контура	$\leq 1200$
— второго контура	$\leq 1200$
Температура теплоносителя, $^{\circ}\text{C}$ :	
— на входе в активную зону	$\leq 40$
— на выходе из активной зоны	$\leq 65$
Количество стационарных экспериментальных каналов:	
— горизонтальных (ГЭК)	10
— вертикальных (ВЭК)	2
Экспериментальные устройства в активной зоне (петлевые, ампульные):	
— $\leq \text{Ø } 60 \text{ мм}$	$\leq 40$
— $\text{Ø } 120 \text{ мм}$	2
— $\text{Ø } 130 \text{ мм}$	1

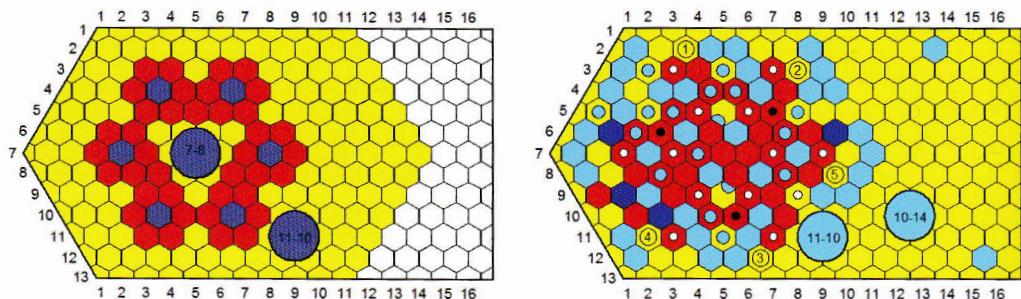


— Ø 190 мм	1
— Ø 400 мм	1
Продолжительность кампании, ч	300–500

### Активная зона ИВВ-2М

В активной зоне реактора используются тепловыделяющие сборки типа ИВВ-2М, содержащие по пять трубчатых твэлов шестигранного сечения, коаксиально расположенных между внутренним и наружным чехлами, и формируются в виде шести топливных секций, размещаемых по кольцу в бериллиевом отражателе. В центре каждой секции имеется полость для размещения экспериментальных устройств диаметром до 60 мм, а в центре активной зоны создается экспериментальный объем до 130 мм. В активной зоне реактора и в отражателе при необходимости могут быть сформированы водяные полости для размещения экспериментальных устройств диаметром до 250 и 400 мм соответственно.

Компоновка активной зоны выбирается в соответствии с конкретной задачей на кампанию на основе типовых или вновь разработанных картограмм.



- тепловыделяющая сборка (ТВС)
- бериллиевый блок
- ТВС + компенсационный стержень (КС)
- бериллиевый блок + АР (СДП)
- ТВС + стержень аварийной защиты (АЗ)
- бериллиевый блок + КТВ
- водяные полости (ловушки) с размещенными в них экспериментальными (облучательными) устройствами

Варианты загрузки активной зоны ИР ИВВ-2М

Количество ТВС в рабочей загрузке активной зоны может изменяться от 30 до 42, что достигается благодаря сочетанию метода догрузки ТВС с методом частичной перегрузки ТВС, достигших предельной глубины выгорания топлива.

### Охлаждение активной зоны

Циркуляция теплоносителя первого контура через ТВС осуществляется сверху вниз циркуляционным насосом, погруженным в бассейн реактора. Отвод тепла от теплоносителя первого контура осуществляется через установленный непосредственно в бак реактора теплообменник, охлаждаемый технической водой.

### Экспериментальные возможности

Реактор ИВВ-2М оборудован стендами и установками для испытаний топлива и макетов твэлов реакторных установок различного назначения в газовых средах с изучением



выхода продуктов деления при облучении, каналами для изучения поведения конструкционных материалов в газовых средах при температурах от 40 °С до 1200 °С, восемью горизонтальными экспериментальными каналами, оборудованными нейтронными дифрактометрами и спектрометрами для исследования поликристаллических и монокристаллических материалов.

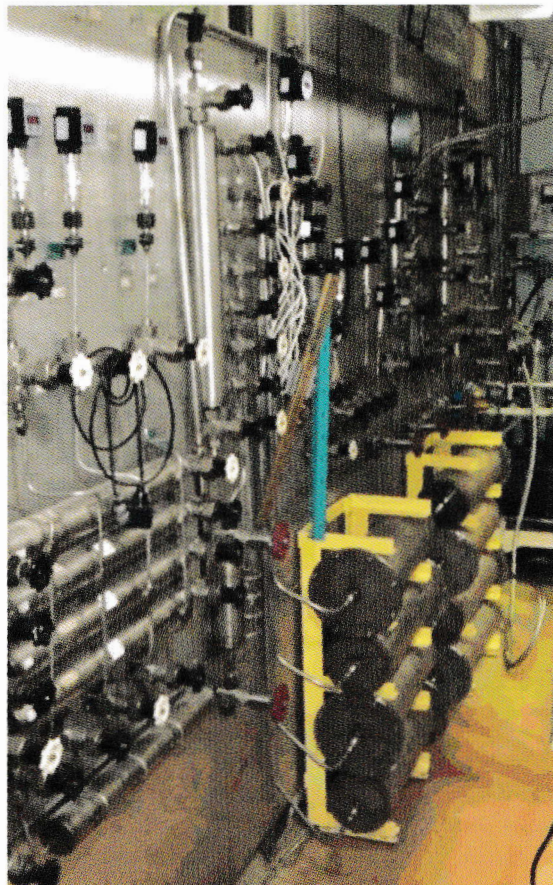
Эксперименты могут проводиться в широком интервале температур (2,5–1000 К), давлений (до 30 кбар) и магнитных полей (до 1,5 Тл).

### *Испытания электрогенерирующих каналов*

#### **Стенд ПУРС**

На реакторе ИВВ-2М проводятся испытания приборов с термоэмиссионными электрогенерирующими каналами для ЯЭУ космического назначения.

Испытания проводятся на реакторных стендах под общим названием ПУРС, оснащенных современной газовакуумной техникой, оборудованных нагрузочно-диагностическим устройством и системами измерений и  $\gamma$ -спектрометрии для регистрации выхода продуктов деления из топлива в процессе испытаний.



Стенд ПУРС

Стенды ПУРС представляют собой совокупность нескольких сложных стендов, обеспечивающих непрерывность уникальных испытаний с заданными параметрами в течение

года, при проведении которых может поддерживаться и регистрироваться с частотой 1 раз в секунду более 80 различных параметров.

Нагрузочно-диагностическое устройство позволяет поддерживать электрические параметры объектов исследований в широком диапазоне мощности.

Система  $\gamma$ -спектрометрии позволяет получать оперативную информацию об активности и составе ИРГ, выходящих из объектов исследований при разных режимах испытаний.

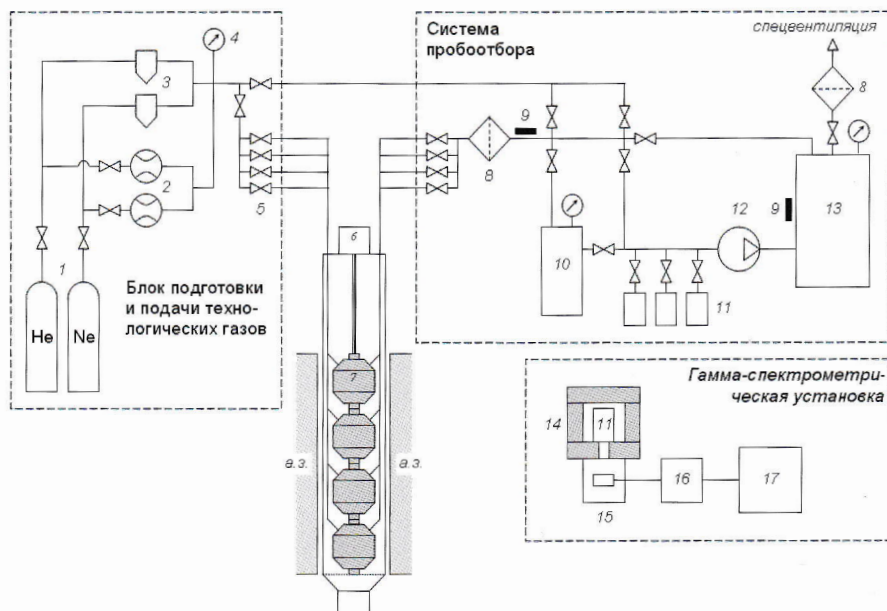
При испытаниях объектов исследований проводится нейтронно-физическое сопровождение с выдачей информации о нейтронных и  $\gamma$ -полях.

После реакторных экспериментов объекты исследований передаются в «защитные» камеры, где в соответствии с программами испытаний проводятся послереакторные исследования конструкционных материалов, топлива и элементов объекта.

### Испытания топлива и топливных композиций

#### Стенд РИСК

Для реакторных испытаний топливных таблеток, макетов твэлов, шаровых твэлов, микротвэлов создан стенд РИСК, на котором проводятся исследования поведения этих объектов в условиях, приближенных к натурным: по тепловой нагрузке на твэлы, по температуре оболочки и топлива, по темпу набора выгорания и флюенса.



Структурная схема стенда РИСК: 1 — баллоны с технологическими газами (гелий, неон); 2 — расходомеры; 3 — дозаторы подачи газа; 4 — датчик давления; 5 — газовая гребенка; 6 — механизм перемещения капсул по высоте активной зоны; 7 — капсула с исследуемыми образцами; 8 — йодный фильтр; 9 — дозиметр; 10 — накопительная емкость объемом 20 л; 11 — измерительные пробоотборники объемом 0,27 л каждый; 12 — форвакуумный насос; 13 — емкость выдержки объемом 200 л; 14 — свинцовая защита (при необходимости с коллиматором); 15 — гамма-детектор GC2018 фирмы Canberra Inc. (США); 16 — предусилитель ПУ-Г-1К2; 17 — ПЭВМ с внешними устройствами ввода и вывода информации



Для испытаний топливных композиций используются инструментированные ампульные экспериментальные устройства, которые позволяют в процессе испытаний контролировать выход активности ГПД из образцов, их размеры и механическую нагрузку, температуру, поток нейтронов.

Стенд РИСК обеспечивает высокоточную дозированную подачу инертных газов (гелий, неон, криптон, аргон) в экспериментальное устройство и высокоточные измерения активности выделяемых ГПД с использованием современной  $\gamma$ -спектрометрической аппаратуры.

На реакторе выполнены программы, которые позволили обосновать преимущественную работоспособность уран-эрбиевого топлива для реакторов РБМК, лицензировать топливо ВТГР для реакторов HTR-10 (Китай) и RBMR (ЮАР).

Экспериментальная база испытаний топлива и твэлов для ВТГР, реакторные испытания в сочетании с предреакторными и послереакторными исследованиями являются одними из лучших в мировой практике.

Подобный комплекс имеется в настоящее время, помимо АО «ИРМ», только в Национальной Лаборатории Айдахо (США).

### *Испытания конструкционных материалов*

Для проведения исследований конструкционных материалов в условиях воздействия ионизирующих излучений реактор оснащен набором экспериментальных установок и устройств, позволяющих проводить комплексные испытания образцов конструкционных материалов и элементов изделий в активной зоне реактора, обеспечивающей невозмущенный поток нейтронов до  $2 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$  ( $E > 0,1 \text{ МэВ}$ ) и длительность экспериментов до 7000 ч в год. Облучательные устройства и установки для проведения внутрореакторных испытаний могут размещаться в полости ТВС реактора диаметром 30 мм, периферийной полости активной зоны диаметром 60 мм или центральной полости диаметром 120 мм.

В реакторе проводятся:

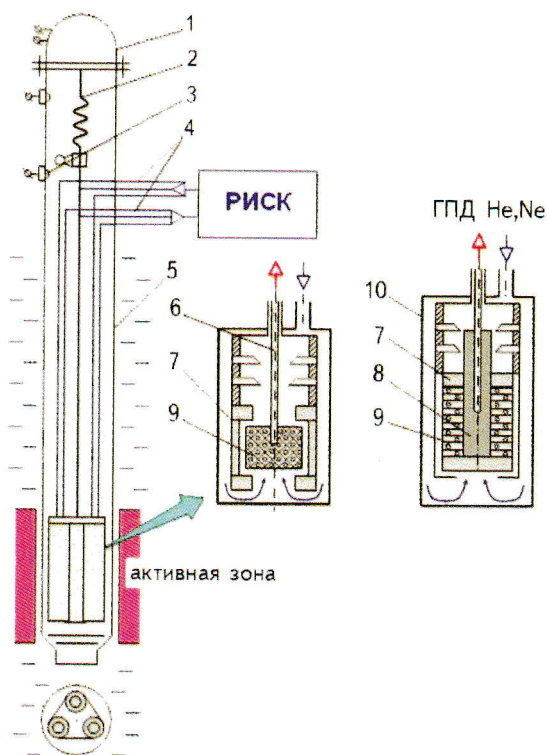
- облучение образцов в жидком азоте;
- облучение образцов в среде инертных газов и вакууме при температурах 60–1500 °С;
- коррозионные испытания в жидких и газовых средах при температурах 30–1000 °С;
- механические испытания образцов конструкционных материалов.

### **Облучательные устройства (ОУ)**

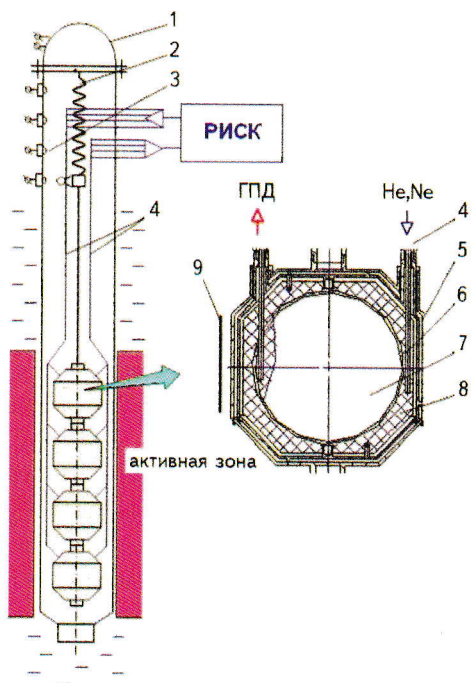
Для облучения образцов в среде инертных газов и вакууме используются устройства, в которых могут размещаться образцы различных конфигураций (плоские, круглые, фигурные и трубчатые). Необходимые условия по набору заданного флюенса нейтронов достигаются путем размещения устройств в различных местах активной зоны.

Температурные параметры испытаний достигаются за счет радиационного разогрева образцов в потоке ионизирующих излучений или с использованием электрических нагревателей. Конфигурация и размеры облучательных устройств могут быть различными.

Контролируемыми параметрами при проведении таких экспериментов являются: температура, продолжительность испытаний, состав среды (разряжение) в рабочем объеме. Составом среды (соотношением объемов различных инертных газов) достигается регулирование и поддержание температурного режима образцов в заданных пределах.



Инструментированное ампульное ЭУ АСУ-8: 1 — электропривод; 2 — винтовой редуктор; 3 — концевой выключатель; 4 — газовые тракты; 5 — корпус канала; 6 — термопара; 7 — теплоизоляция; 8 — шпилька; 9 — графитовый диск с МТ; 10 — корпус капсулы

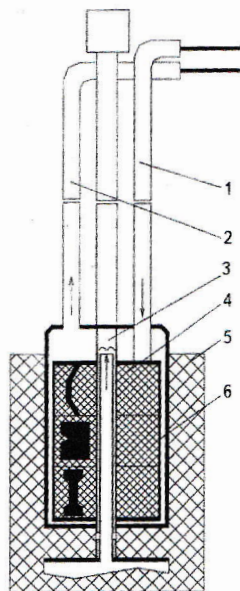


Инструментированное ампульное ЭУ «Восток»: 1 — электропривод; 2 — винтовой редуктор; 3 — концевой выключатель; 4 — газовые тракты; 5 — капсула; 6 — термопара; 7 — шаровой твэл; 8 — графитовая теплоизоляция; 9 — термонейтронный детектор



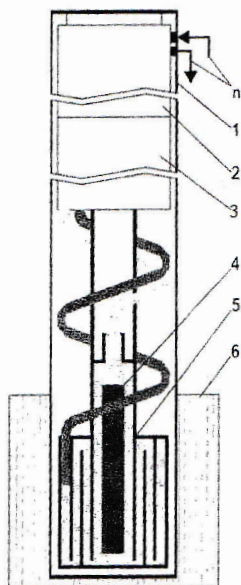
**Установка коррозионных испытаний материалов в потоке перегретого пара (УКИ)**

Установка коррозионных испытаний образцов в потоке перегретого пара позволяет проводить эксперименты, имитирующие условия аварийных режимов эксплуатации элементов конструкций реакторных установок при температуре до 1000 °С и скорости потока пара до 100 м/с.



ОУ реактора ИВВ-2М (один из вариантов): 1 — трубопровод подачи среды; 2 — трубопровод технологического газа; 3 — центральный холодильник; 4 — навеска с образцами; 5 — активная зона; 6 — ампула

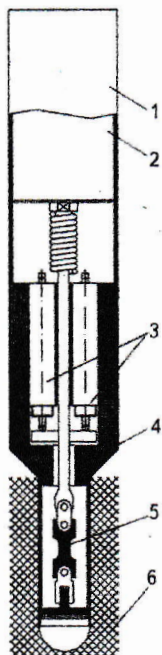
Коррозионная камера установки размещена в активной зоне реактора. Вода подается в деаэрактор, затем в парогенератор и далее в рабочую камеру. Перегрев пара обеспечивается радиационным нагревателем. Контролируемые параметры при проведении экспериментов: температура, состав и расход среды.



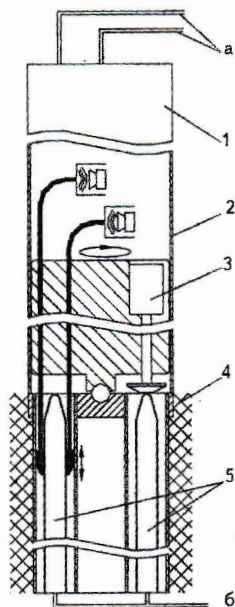
УКИ реактора ИВВ-2М: 1 — корпус; 2 — биологическая защита; 3 — механизм перемещения; 4 — навеска с образцами; 5 — пароперегреватель; 6 — активная зона; п — вход и выход пара

### Установки механических испытаний

На реакторе ИВВ-2М имеется комплекс установок, которые позволяют проводить кратковременные и длительные механические испытания материалов при одноосном нагружении образцов растягивающими и сжимающими напряжениями и нагружением трубчатых образцов внутренним давлением газа. При одноосном нагружении регистрация данных по деформации проводится непрерывно, при этом имеется возможность испытывать до 6 образцов одновременно. При нагружении трубчатых образцов внутренним давлением газа регистрация величины деформации проводится периодически путем сравнения длины образцов с калибром.



ЭУ ОП реактора ИВВ-2М:  
1 — механизм перемещения; 2 — механизм нагружения; 3 — датчики линейных перемещений; 4 — облучательное устройство; 5 — образец; 6 — активная зона реактора



Установка СИГНАЛ:  
1 — манипулятор; 2 — канальная труба в сборе; 3 — акустическая консоль; 4 — активная зона реактора; 5 — облучаемые образцы; а, б — система нагружения

### Установка ОП

Установка ОП предназначена для кратковременных и длительных механических испытаний на одноосное растяжение. Она размещена в вертикальном канале, нижняя часть которого расположена в активной зоне реактора.

Установка разработана по модульному принципу и состоит из механизма перемещения, механизма нагружения и облучательного устройства с образцами и датчиками линейных перемещений.

Конструкция установки ОП позволяет проводить длительные испытания образцов в режимах с постоянной скоростью перемещения активного захвата или поддержанием нагрузки по заданной программе. При кратковременных испытаниях образец после загрузки в реактор облучается до заданного флюенса, а затем растягивается с постоянной скоростью до разрушения.

Установка позволяет проводить испытания образцов при температуре до 1500 °С, нагрузке до 2000 Н и плотности потока нейтронов до  $2 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$  ( $E > 0,1 \text{ МэВ}$ ). Контролируемые параметры при реакторных испытаниях: температура, нагрузка, деформация.



### **Установка СИГНАЛ**

Установка СИГНАЛ для длительных механических испытаний образцов, нагруженных внутренним давлением газа, предназначена для изучения формоизменения оболочек твэлов в режиме воздействия переменной нагрузки. В основу измерений заложен метод сравнения эталонного и исследуемого образцов по длине и диаметру в процессе облучения.

Для исследований используются образцы оболочек твэлов с наружным диаметром 9,13–9,15 мм с длиной рабочей части 400 мм в количестве 5 штук. Канал имеет диаметр 60 мм и заполнен гелием. В активной зоне реактора в средней по высоте части образцов плотность потока нейтронов достигает  $1,5 \cdot 10^{14}$ , а по краям —  $0,4 \cdot 10^{14}$   $\text{см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ .

Температура по длине образцов плавно возрастает с 50 °С по краям до 320 °С в центре.

Контролируемые параметры при проведении эксперимента: температура, величина отклика акустического сигнала, текущая координата образца оболочки твэла, давление газа.

### **Циркуляционные установки**

#### ***Петлевая установка низкого давления***

Петлевая установка низкого давления предназначена для проведения испытаний конструкционных и топливных материалов в среде водного теплоносителя специального состава при температуре теплоносителя 60–100 °С и расходе воды не более 4 м<sup>3</sup>/ч. На установке проводятся испытания топливных композиций для исследовательских реакторов с пониженным обогащением урана. Контролируемые параметры при испытаниях: расход теплоносителя, температура, состав среды.

#### ***Петлевая установка высокого давления***

Разработана установка петлевого типа с водой высоких параметров, предназначенная для проведения испытаний оболочек твэлов при температуре около 300 °С и давлении теплоносителя до 20 МПа. Установка позволяет проводить коррозионные испытания оболочек твэлов ВВЭР или РБМК при заданных параметрах по водно-химическому режиму. При испытаниях предусмотрен контроль следующих параметров: температуры, давления, расхода и химического состава водного теплоносителя.

### **Перспективы развития стендовой базы ИВВ-2М**

Для обоснования проектных решений реакторов с тяжелым жидкометаллическим теплоносителем разработана петлевая внутриреакторная установка, которая представляет собой неизотермический циркуляционный контур с жидкометаллическим теплоносителем (свинец марки С00), который оснащен несколькими экспериментальными участками, где могут размещаться образцы для коррозионных испытаний, газовым контуром и системами обеспечения заданных режимов эксплуатации петли.

Установка моделирует условия эксплуатации реакторной установки с тяжелым жидкометаллическим теплоносителем. Она позволяет исследовать активацию теплоносителя, перенос радионуклидов по первому контуру, их выход в газовое пространство и осаждение на элементах конструкции активной зоны реактора.

В процессе эксплуатации петли проводятся коррозионные испытания конструкционных материалов в условиях одновременного воздействия нейтронного потока и жидкометаллического теплоносителя.

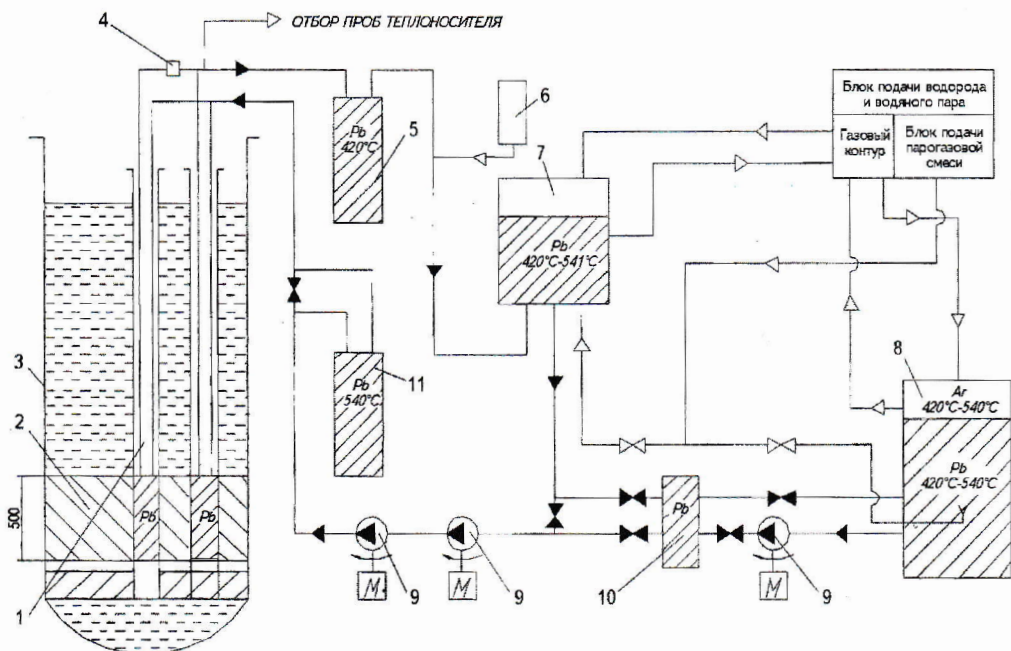


Схема петлевой установки со свинцовым теплоносителем: 1 — экспериментальное ОУ; 2 — активная зона; 3 — корпус реактора ИВВ-2М; 4 — датчик активности; 5 — участок 2 с рабочей температурой 420 °С; 6 — блок подачи кислорода (массообменный аппарат); 7 — компенсатор объема; 8 — барботажная колонка; 9 — циркуляционный насос; 10 — смеситель; 11 — участок 1 с рабочей температурой 540 °С

## Основные направления исследований и производства

### Исследования реакторных материалов:

- проведение испытаний материалов и элементов конструкций активных зон ядерных энергетических установок различного назначения в стационарных и маневренных режимах;
- реакторное облучение, послереакторные испытания и исследования кандидатных материалов для элементов конструкций модуля бланкета термоядерного реактора ИТЭР с моделированием условий эксплуатации.

### Исследования топлива:

- реакторные испытания топливных таблеток и макетов ТВЭЛов для легководных реакторов типа ВВЭР, РБМК;
- реакторные испытания и послереакторные исследования микротвэлов, шаровых ТВЭЛов и компактов для высокотемпературных газоохлаждаемых реакторов;
- реакторные испытания дисперсионного уран-молибденового топлива по программе снижения обогащения по урану-235 для ТВС исследовательских реакторов.

### Исследования в обоснование работоспособности ЯЭУ космического назначения:

- реакторные испытания в петлевых каналах объектов исследований для ЯЭУ космического назначения и послереакторные исследования элементов этих объектов.



**Производство радионуклидов:**

- наработка иридия-192, углерода-14, цезия-131, лютеция-177 и др.

**Безопасность реакторов:**

- реакторное облучение и послереакторные испытания и исследования материалов биологической защиты (композиции на основе бетонов);
- реакторные испытания макетов датчиков измерения температуры и деформации графитовых колонн реакторов РБМК на основе оптоволоконка;
- оценки выхода радионуклидов из теплоносителя и испытания конструкционных материалов РУ БРЕСТ;

**Перспективные исследования:**

- отработка режимов выделения трития из теплоносителя для экспериментального модуля бланкета термоядерного реактора ИТЭР;
- экспериментальные исследования в обоснование работоспособности перспективных видов топлива и графитовых материалов для ВТГР повышенных параметров:
  - глубина выгорания топлива > 13%;
  - флюенс быстрых нейтронов ( $E > 0,1$  МэВ) до  $5 \cdot 10^{25}$  м<sup>-2</sup>;
  - номинальная температура топлива > 1300 °С;
  - аварийная температура топлива > 1600 °С;
- реакторные испытания и послереакторные исследования топливных композиций и опытных твэлов для изучения возможности перехода на торий-урановый цикл в реакторах на тепловых нейтронах.

**Персоны**



*Русских Иван Михайлович*

Главный инженер АО «ИРМ»

Тел.: +7(343)773-50-00. Факс: +7(343)773-33-96.

E-mail russkikh\_im@irmatom.ru

**Контакты**



*Селезнев Евгений Николаевич*

Главный инженер реакторной установки ИВВ-2М

Тел.: +7(343)773-51-80. Факс: +7(343)773-33-96.

E-mail seleznev\_en@irmatom.ru