

Директор
НИЦ КИ ФГБУ
ПНИФ

Аксенов Виктор
Лазаревич

- молекулярная биология и биомедицина;
- фундаментальные и прикладные исследования с использованием нейтронов, протонов и тяжелых ионов;
- нейтринная физика;
- физика ядерных реакторов и ускорителей;
- ядерная медицина (производство изотопов, лучевая терапия, нанобиотехнологии для медицины).

Институт имеет статус эксплуатирующей организации, осуществляющей деятельность в области использования атомной энергии в соответствии с федеральным законом «Об использовании атомной энергии».

В состав комплекса ядерных установок института входят:

- исследовательский ядерный реактор ПИК;
 - исследовательский ядерный реактор ВВР-М;
- критический стенд «Физическая модель реактора ПИК».

В настоящее время реализуется инвестиционный проект создания научно-исследовательского реакторного комплекса ПИК на базе одного из самых мощных в мире высокопоточных реакторов с тепловой мощностью 100 МВт и плотностью потока тепловых нейтронов $5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$.

Критический стенд ФМ ПИК мощностью 100 Вт является полномасштабной копией реактора ПИК. Введен в эксплуатацию в 1983 г. для исследования ряда вопросов физики и техники сооружаемого реактора, обоснования безопасности и совершенствования его технических характеристик.

После полного ввода в эксплуатацию реактора ПИК и оснащения его научным оборудованием, часть которого уже используется на реакторе ВВР-М и установках других институтов, исследовательский комплекс реактора ПИК будет одним из крупнейших в Европе.

Исследовательские ядерные установки ПНИФ

Тип ИЯУ	Название ИЯУ	Мощность тепловая, кВт	Год физического пуска	Состояние	Длительность эксплуатации, лет*
ИР	ВВР-М	18 000,00	1959	Действующий	56
ИР	ПИК	100 000,00	2011	Действующий**	3
КС	ФМ ПИК	0,10	1983	Действующий	32

* — на 2015 г.

** — продолжается сооружение ПИК в составе II и III пусковых комплексов.

ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ РЕАКТОР ПИК

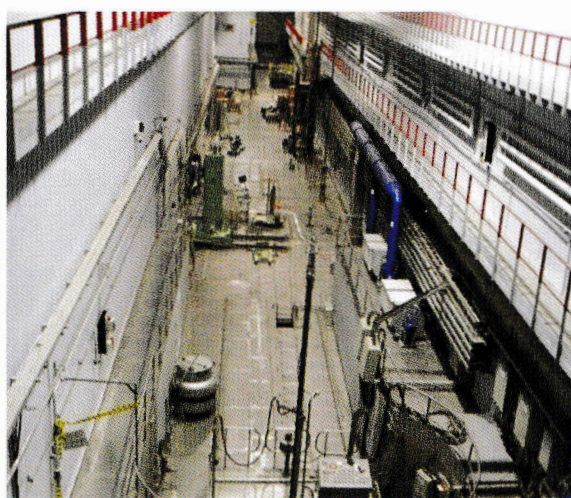
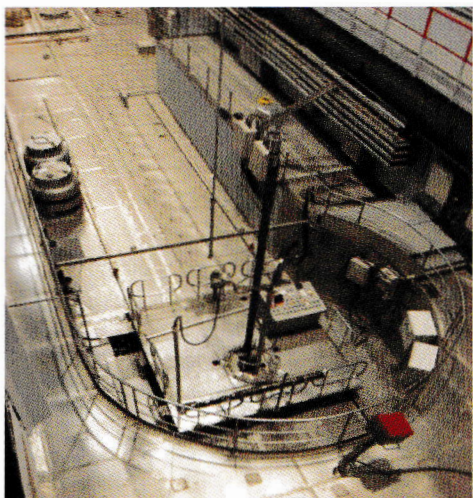
Высокопоточный пучковый исследовательский реактор ПИК предназначен для проведения широкого круга работ в области ядерной физики и физики слабого взаимодействия, физики конденсированного состояния, структурной и радиационной биологии и биофизики, радиационной физики и химии, а также для решения многих прикладных технических задач. Физический пуск реактора в составе первого пускового комплекса осуществлен 28.02.2011 г., начало программы энергопуска запланировано на 2018 г.



Площадка комплекса ПИК



Здание установки ПИК



Реакторный зал ПИК

Реактор входит в состав исследовательского комплекса, предназначенного для применения нейтронного излучения при исследованиях в различных областях знаний.

Реактор ПИК — водо-водяной, с центральной нейтронной ловушкой, корпусной, с теплоносителем под давлением (5,0 МПа), со стационарной плотностью потока нейтронов. Максимальная мощность реактора — 100 МВт.

Состав экспериментальных устройств реактора и высокая интенсивность нейтронного потока (более чем $10^{15} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$) позволяют планировать на нем исследования качественно нового типа по сравнению с теми, которые были доступны на существующих в России и за рубежом реакторах с меньшей плотностью потока нейтронов.

Для проведения физических исследований реактор ПИК оснащен современными экспериментальными устройствами. К ним относятся:

- центральный экспериментальный канал (ЦЭК),
- источники холодных (ИХН) нейтронов;
- нейтроноводы;
- горизонтальные, наклонные и вертикальные экспериментальные каналы (ГЭК, НЭК и ВЭК).

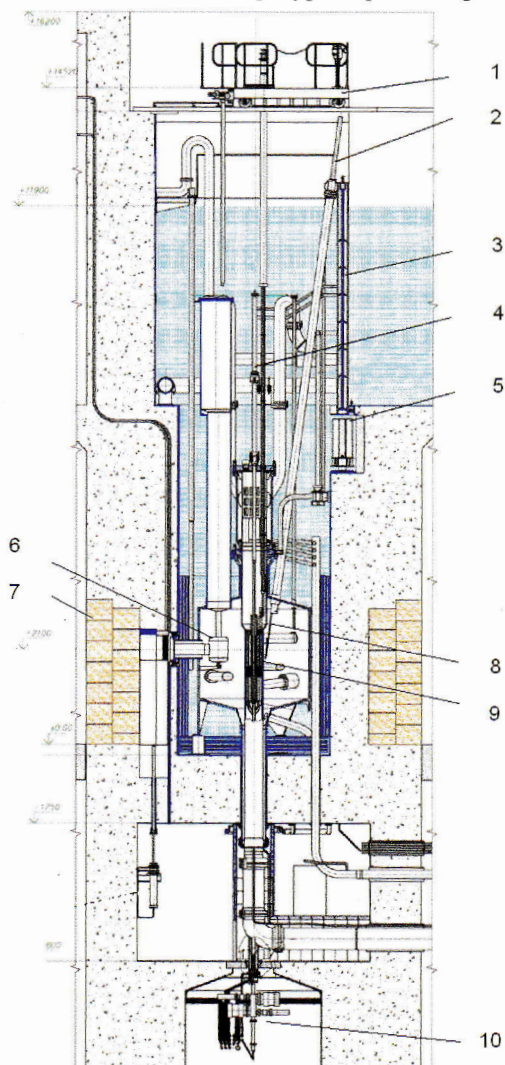
Большинство экспериментов должно выполняться на выведенных нейтронных пучках. В отражателе расположены основные экспериментальные устройства и каналы для вывода

нейтронных пучков. Реактор оснащается специализированными источниками горячих, холодных и ультрахолодных нейтронов.

Часть каналов в отражателе и центральный экспериментальный канал пригодны для выполнения прикладных исследований в области ядерной энергетики. В реакторе ПИК возможно облучение материалов интенсивными потоками быстрых нейтронов и в активной зоне.

Цилиндрическая легководная ловушка с оптимальным диаметром около 10 см расположена в центре активной зоны. В центральном канале (ЦЭК) невозмущенная плотность потока тепловых нейтронов достигает более $5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$, а быстрых с энергией $E > 1,2 \text{ МэВ}$ — $5 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$. ЦЭК подключен к герметичной петле, которая оборудована необходимыми системами безопасности.

Конструкцией реактора предусмотрена установка образцов-свидетелей вблизи центрального канала. Образцы облучаются при давлении 5 МПа и температуре теплоносителя от 50 до 90 °С. Температура образцов при этом составляет от 60 до 170 °С.



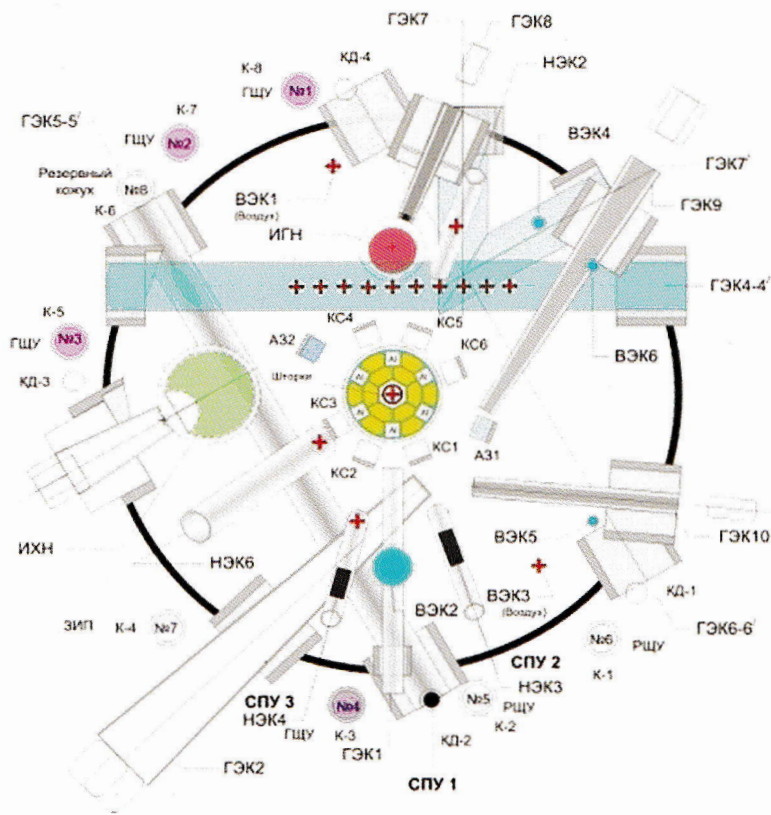
Вертикальный разрез реактора ПИК: 1 — машина перегрузочная; 2 — привод стержня; 3 — гидрозатвор; 4 — ЦЭК; 5 — барабан перегрузочный; 6 — источник холодных нейтронов; 7 — защита разборная; 8 — поглощающий стержень; 9 — корпус с активной зоной; 10 — привод шторок

Назначенный срок эксплуатации оборудования реактора — 30 лет. При эксплуатации предусмотрена замена съемных узлов: корпуса с активной зоной, практически всех экспериментальных каналов, активной зоны и опорной решетки.

Срок службы корпуса активной зоны определяется флюенсом быстрых нейтронов и должен уточняться по результатам испытаний образцов-свидетелей и с учетом цикличности работы. Расположение образцов-свидетелей при облучении обеспечивает получение опережающего флюенса нейтронов.

В настоящее время обоснован срок службы корпуса из стали 08X18H10T до флюенса $6 \cdot 10^{22} \text{ см}^{-2}$ ($E > 0,8 \text{ МэВ}$). На основании механических характеристик, полученных по результатам испытаний образцов-свидетелей, возможно продление срока службы в пределах до 10 лет.

В перспективе возможна разработка съемного корпуса и модифицированных твэлов с использованием малопоглощающих конструкционных материалов, что позволит увеличить нейтронные потоки в отражателе в 1,5 раза, не прибегая к изменениям оборудования реактора в целом и увеличению мощности реактора. Одновременно расширяются возможности для облучения материалов внутри активной зоны, и сокращается потребление высокообогащенного урана.



Расположение экспериментальных каналов и блоков детектирования штатной и дополнительной аппаратуры СУЗ при физическом пуске.

Основные технические характеристики ПИК

Тепловая мощность, МВт	100
Теплоноситель	H ₂ O

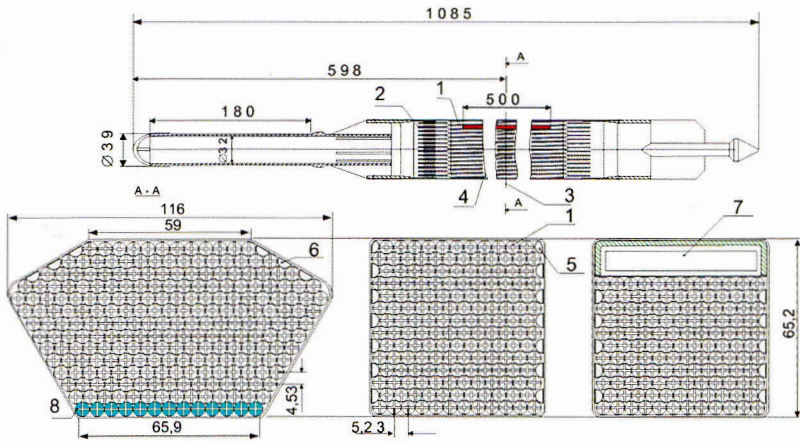
Отражатель	D ₂ O
Замедлитель	H ₂ O
Максимальное рабочее давление теплоносителя в I контуре, МПа	5
Расход теплоносителя, м ³ /ч	2400
Скорость потока теплоносителя в активной зоне, м/с	10
Максимальная температура теплоносителя на выходе из активной зоны, °С	90
Обогащение топлива по ²³⁵ U, %	90
Выгорание топлива по ²³⁵ U, %:	
— среднее (по активной зоне)	18
— максимальное в выгружаемых ТВС (в режиме частичных перегрузок)	24–30
Энергонапряженность активной зоны, кВт/л:	
— средняя	2000
— максимальная	6600
Максимальная плотность теплового потока на поверхности твэла, кВт/м ²	10000
Максимальная плотность потока нейтронов, см ⁻² ·с ⁻¹ :	
— тепловых	5·10 ¹⁵
— быстрых	1·10 ¹⁵
Число тепловыделяющих сборок (ТВС)	18
Число органов аварийной защиты (АЗ)	4
Число органов регулирования (РО)	10
Конструкция ТВС:	
— тип твэлов	стержневой
— топливо	UO ₂ + Ве-бронза
Число горизонтальных каналов	13
Число наклонных каналов	6
Число вертикальных каналов	8
Число источников холодных нейтронов	2
Число источников горячих нейтронов	1
Число нейтроноводов	6
Плотность потока нейтронов на выходе каналов, см ⁻² ·с ⁻¹	(2–3)·10 ¹⁰
Плотность потока нейтронов на выходе нейтроноводов, см ⁻² ·с ⁻¹	(1,1–1,4)·10 ¹⁰
Число мест для рабочих станций (исследовательских установок)	до 50

Активная зона реактора ПИК

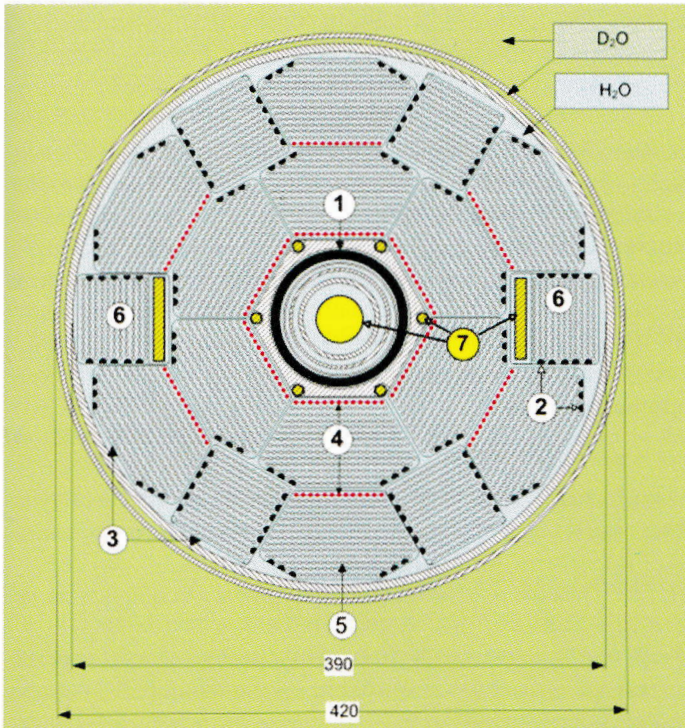
Легководная активная зона объемом около 50 л помещена в тяжеловодный отражатель и представляет собой интенсивный источник быстрых нейтронов деления мощностью 100 МВт.

Используются ТВС с поперечными сечениями в форме неправильного шестигранника или квадрата. В ТВС применяются стержневые крестообразные твэлы, установленные по треугольной решетке с шагом 5,23 мм. Оболочки твэлов выполнены из коррозионностойкой стали 06Х16Н15МЗБ. Топливо — диоксид урана 90% обогащения, диспергированный в медно-бериллиевой матрице. Максимальное общее число твэлов в активной зоне — 3858 штук. Максимальная загрузка по урану-235 — до 27,5 кг.

Особенностью конструкции активной зоны является топливное профилирование, обеспеченное снижением содержания топлива в первом от нейтронной ловушки ряду твэлов. Применение топливного профилирования снижает объемный коэффициент энерговыделения с 5,5 до 3,3, а в режимах частичных перегрузок топлива с перестановкой ТВС — от корпуса к нейтронной ловушке до значений менее 3,0.



Конструкция ТВС ПИК-2: 1 — твэл; 2 — дистанционирующие обоймы; 3 — центр по топливу; 4 — чехол ТВС (Э-125 или Э-110); 5 — вытеснитель угловой; 6 — СВП; 7 — ампула с образцами-свидетелями; 8 — твэл с топливной загрузкой 0,48 номинала



Картограмма активной зоны реактора ПИК (с эксплуатационным комплектом ТВС): 1 — поглощающие шторки из гафния; 2 — стержни выгорающего поглотителя $Gd_2O_3 + ZrO_2$; 3 — циркониевые чехлы ТВС; 4 — твэлы с уменьшенным содержанием топлива (0,48 номинального); 5 — твэлы с номинальным содержанием топлива; 6 — ТВС с образцами-свидетелями материала корпуса; 7 — облучаемые образцы

В одной из модификации квадратной ТВС за счет извлечения трех рядов стержневых твэлов образована полость для размещения образцов-свидетелей в плоской ампуле.

В состав эксплуатационного комплекта ТВС входят стержни выгорающего поглотителя (СВП) на основе гадолиния. СВП имеют полуцилиндрический профиль и устанавливаются вместо внутренних вытеснителей.

ТВС с СВП позволяют использовать разные варианты перегрузок топлива, вплоть до замены активной зоны целиком, обеспечивая изменение продолжительности кампании реактора от 15 до 30 суток.

Охлаждение активной зоны

Реактор имеет трехконтурную схему охлаждения. Промежуточный контур имеет избыточное давление меньше, чем I контур, а давление в контуре обратного водоснабжения больше, чем в промежуточном контуре. Поэтому попадание теплоносителя I контура в окружающую среду исключено. Генерируемое реактором тепло передается через градирни атмосфере.

Первый контур, состоящий из шести главных и трех циркуляционных насосов расхолаживания, шести теплообменников, компенсатора давления, арматуры и трубопроводов, объединяющих это оборудование, предназначен для отвода тепла от активной зоны и передачи его промежуточному контуру, а также для удержания активной среды. Циркуляция теплоносителя первого контура через ТВС осуществляется сверху вниз.

Теплоноситель из реактора по трубопроводу $\varnothing 490 \times 20$ мм поступает на три параллельные ветви $\varnothing 325 \times 15$ мм с главными запорными задвижками. К каждой ветви трубопроводами $\varnothing 219 \times 12$ мм параллельно подключены по два ТО и ГЦН и один насос расхолаживания.

Корпус активной зоны охлаждается принудительно с двух сторон. Со стороны активной зоны теплоносителем является H_2O . Со стороны отражателя — D_2O , циркуляцию которой в зазоре между обечайками корпуса обеспечивает автономный контур. Применение D_2O вместо H_2O для охлаждения корпуса снаружи обеспечивает отрицательный эффект реактивности при потере теплоносителя в аварийных ситуациях и повышает безопасность эксплуатации реактора.

Отвод тепла от экспериментальных устройств и каналов, расположенных в тяжеловодном отражателе (ТВО), обеспечивается контуром охлаждения тяжеловодного отражателя. Давление на входе — 3 кгс/см^2 ; концентрация тяжелой воды — $99,8\%$; суммарный расход теплоносителя — $360 \text{ м}^3/\text{ч}$; температура на входе в бак — $50 \text{ }^\circ\text{C}$, на выходе — $60 \text{ }^\circ\text{C}$.

С целью создания биологической защиты, обеспечения безопасности обслуживания и выполнения перегрузочных операций под водой, повышения безопасности реакторной установки и ограничения радиоактивных выбросов при авариях активная зона реактора и бак ТВО погружены в бассейн с водой (шахту реактора). Охлаждение обеспечивается контуром охлаждения железобетонной защиты.

Реактор оборудован системой аварийного охлаждения (САОР) и системой аварийного расхолаживания (САР).

Контур охлаждения ЦЭК предназначается для охлаждения канала совместно с облучаемыми образцами как в нормальных, так и в аварийных условиях работы контура и реактора ПИК. Устройство ЦЭК позволяет проводить облучения в двух режимах:

- под давлением воды до 5 МПа ; этот режим предназначен в основном для облучения делящихся материалов;
- без давления, со снятой верхней пробкой канала. Компенсатором объема в этом режиме является бассейн шахты реактора, а система аварийного охлаждения (САО) и компенсатор объема ЦЭК должны быть отключены.

Охлаждение внутренних устройств в некоторых экспериментальных каналах обеспечивается автономными гелиевыми петлями.

Охлаждение капсулы источника горячих нейтронов с высокотемпературным графитовым блоком обеспечивается водой отражателя. Выделяемое тепло передается через слой графитового войлока и стенки капсулы ИГН. Регулирование температуры блока возможно заменой гелия на другой газ.

Охлаждение источников холодных и ультрахолодных нейтронов обеспечивается соответствующим криогенным оборудованием. Низкотемпературными замедлителями для формирования необходимого спектра нейтронов являются жидкий дейтерий, жидкий водород или их смеси. В качестве теплоносителя, обладающего высокой удельной теплоемкостью, для охлаждения активной зоны использована обычная легкая вода (дистиллят). Как замедлитель легкая вода обеспечивает малую длину миграции нейтронов, что позволяет сделать активную зону компактной. При подготовке к энергетическому пуску будут выполнены измерения гидравлических характеристик первого контура. Испытания предполагается проводить с имитаторами ТВС без ядерного топлива, имеющими такие же гидравлические характеристики, как и реальные ТВС реактора.

Экспериментальные возможности

Реактор ПИК сооружается для широкого круга пользователей среди научного сообщества, владеющих методами нейтронных исследований, соответствующими оборудованием и аппаратурой. Результатом развития нейтронных и ядерно-физических методов и применения их для исследований вещества являются не только достижения и открытия в разных областях естественных наук, но и решение прикладных задач.

Экспериментальные устройства реактора и высокая интенсивность нейтронного потока (более $10^{15} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$) позволяют планировать на нем исследования качественно нового типа по сравнению с теми, которые были доступны на существующих в России и за рубежом реакторах с меньшей плотностью потока нейтронов.

Реактор ПИК является, прежде всего, источником выведенных к пользователям пучков медленных нейтронов, включая холодные и ультрахолодные нейтроны. Для вывода нейтронного излучения к пользователям предусмотрена развитая система нейтронпроводов. Реактор будет оборудован специализированными источниками горячих, холодных и ультрахолодных нейтронов в тяжеловодном отражателе большого объема.

Центральный экспериментальный канал

Максимальное тепловыделение — до 400 кВт, плотность потока тепловых нейтронов ($E \leq 0,625 \text{ эВ}$) — до $4,6 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$, плотность потока быстрых нейтронов — до $6 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$.

ТВС для облучения материалов в активной зоне

Масса загружаемых образцов из нержавеющей стали в полость составляет $\approx 1,4 \text{ кг}$, плотность потока быстрых нейтронов ($E \geq 1,2 \text{ МэВ}$) — до $8 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$, число ТВС — 2.

Источник горячих нейтронов (ИГН)

Предназначен для проведения исследований с использованием жесткого спектра нейтронов. Представляет собой высокотемпературный графитовый рассеиватель нейтронов. Вывод нейтронов для использования в физических экспериментах осуществляется с помощью горизонтального экспериментального канала ГЭК8.

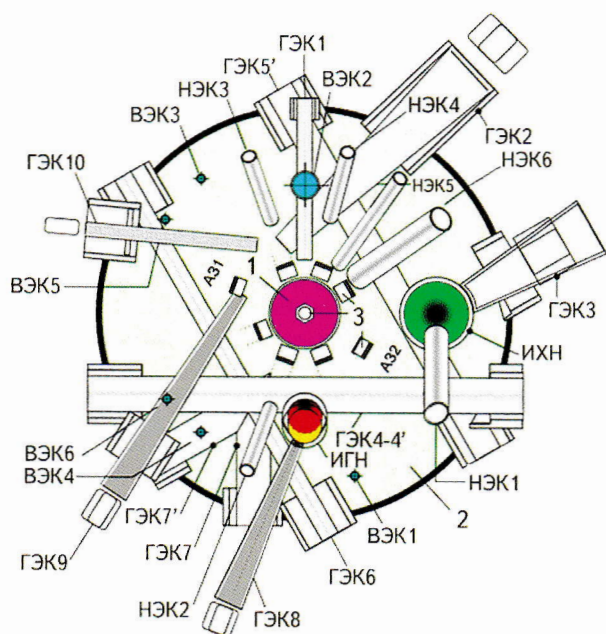
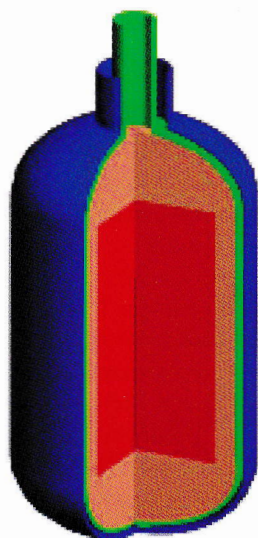
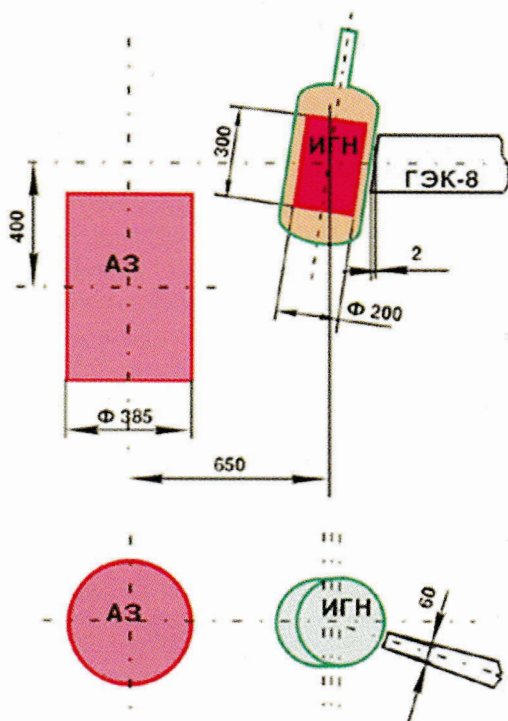


Схема экспериментальных каналов: 1 — активная зона; 2 — отражатель D_2O ; 3 — рабочие органы СУЗ



Капсула ИГН



Расположение капсулы ИГН по отношению к активной зоне

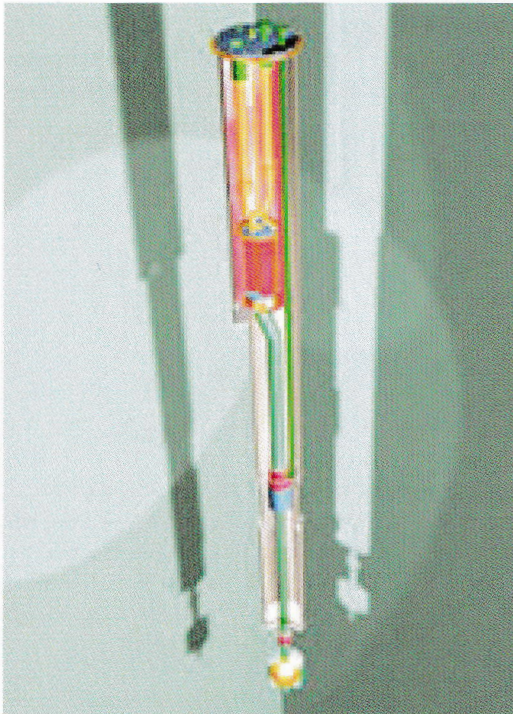
Сдвиг спектра нейтронов тяжеловодного отражателя обеспечивает увеличение нейтронного потока в области энергий 0,1–1,0 эВ. Длина волны в максимуме спектра — $\lambda \approx 0,5 \text{ \AA}$. В динамике конденсированных сред это дает преимущество для исследования внутренних колебаний молекул, оптических фононов и магнонов, стонеровских возбуждений, экситонов, в структурных исследованиях — измерения минимальных размеров порядка атомного радиуса.

Вертикальный источник холодных нейтронов на ГЭКЗ (ИХН)

Предназначен для генерации нейтронов с энергиями ниже $5 \cdot 10^{-3} \text{ эВ}$, $\lambda = (1-15) \text{ \AA}$.

Рабочая камера источника имеет герметичную воронку размером $100 \times 190 \times 200 \text{ мм}$ строго по центру канала ГЭКЗ.

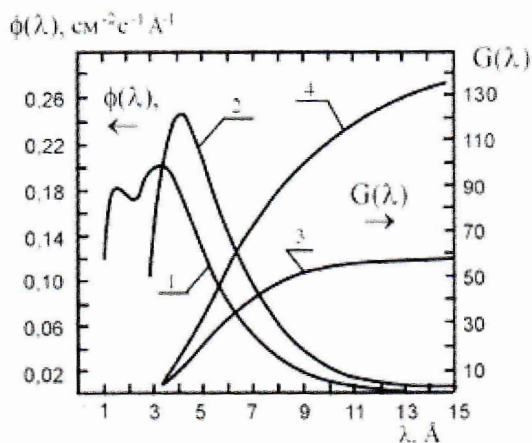
Параметр ИХН	Значение
Объем дейтерия, л	25
Плотность потока тепловых нейтронов в объеме камеры, $\text{см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$	$2,3 \cdot 10^{14}$
Плотность потока быстрых нейтронов, $\text{см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$	$0,8 \cdot 10^{11}$
Тепловыделение общее, кВт	6
Тепловыделение в жидком дейтерии, кВт	2,7
Тепловыделение в конструкционных материалах, кВт	3,3
Расстояние от центра активной зоны, мм	780
Рабочее давление, МПа	0,15
Давление в теплом состоянии, МПа	0,3



Общий вид вертикального ИХН



Камера ИХН с герметичной воронкой внутри

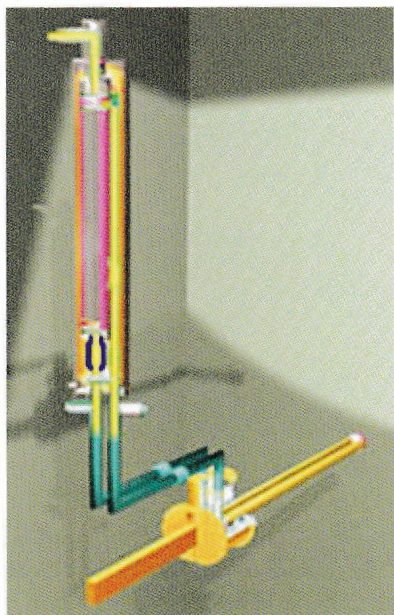


Спектры нейтронов в конце канала и gain-факторы: 1 — спектр в конце канала; 2 — максвелловский спектр при $T=23$ К; 3 — gain-фактор для спектра канала; 4 — предельный gain-фактор

Источники холодных нейтронов в ГЭК2 и ГЭК4-4'

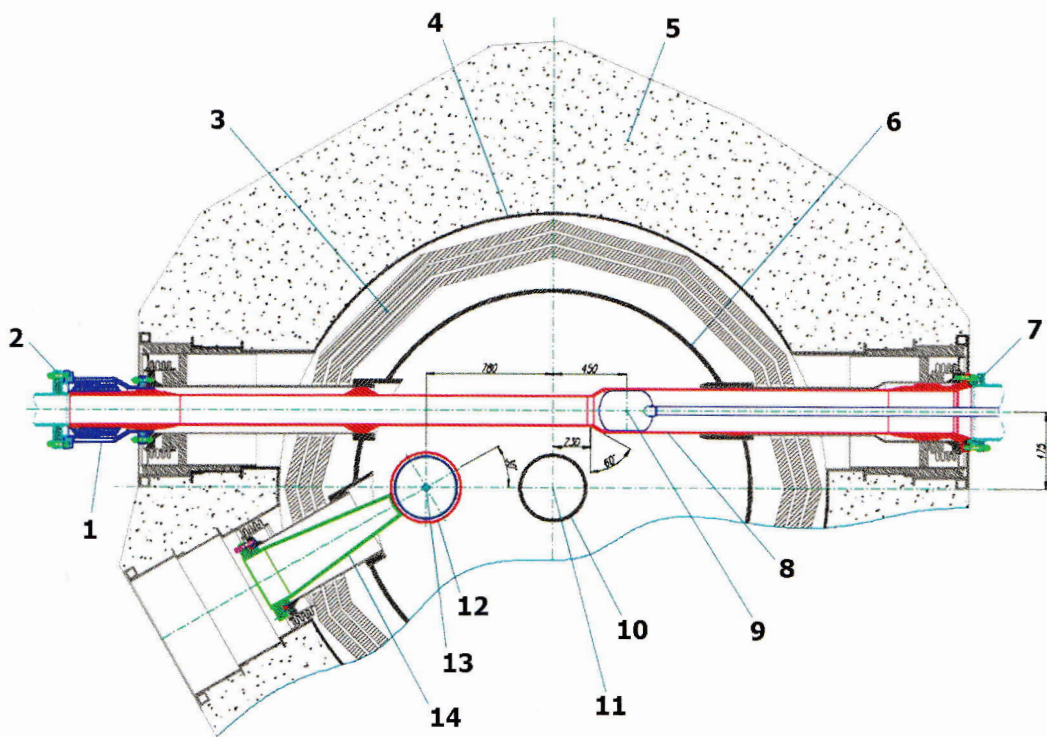
Размещение источника в канале ГЭК4-4' позволит осуществлять вывод нейтронов через нейтроновод в канале в одну сторону, и холодных поляризованных нейтронов через полярирующий нейтроновод — в другую. Такая компоновка позволит получить на канале ГЭК4-4' поток холодных поляризованных нейтронов в 3–5 раз выше, чем потоки, существующие сейчас в мире. Возможны варианты замедлителей на основе жидкого водорода, дейтерия или их смеси.

Предварительная разработка и расчет показали целесообразность создания мощного ИХН для канала ГЭК2. Жидкий дейтерий является предпочтительным носителем для этого ИХН, даже при необходимости использовать большие объемы дейтерия. Согласно модельным расчетам Монте-Карло, этот источник в оптимальном положении на ГЭК2 может оказаться самым мощным ИХН в мире и его наработка холодных нейтронов может превзойти лучшие мировые достижения в 4–10 раз.



Общий вид ИХН в ГЭК4-4'

Параметр ИХН в ГЭК4-4'	Значение	
Замедлитель	H ₂	D ₂
Объем, л	1,4	4,2
Плотность потока тепловых нейтронов в объеме камеры, см ⁻² ·с ⁻¹	6,0·10 ¹⁴	
Плотность потока быстрых нейтронов, см ⁻² ·с ⁻¹	≈10 ¹³	
Тепловыделение общее, кВт	5,3	5,7
Тепловыделение в рабочей среде камеры, кВт	0,9	2,0
Тепловыделение в рабочей среде труб, кВт	0,4	0,1
Тепловыделение в конструкционных материалах камеры, кВт	2,8	2,8
Тепловыделение в конструкционных материалах труб, кВт	1,2	0,8
Расстояние от центра активной зоны, мм	480	



Размещение источников холодных нейтронов: 1 — силфонный компенсатор; 2 — удлинитель канала «А»; 3 — железобетонная защита; 4 — стальная облицовка легководного бассейна реактора; 5 — биологическая защита реактора; 6 — бак тяжеловодного отражателя; 7 — удлинитель канала «Б»; 8 — ГЭК4-4'; 9 — камера ИУХН; 10 — корпус реактора; 11 — центр активной зоны реактора; 12 — вакуумный контейнер; 13 — камера ИХН; 14 — ГЭКЗ

Источник ультрахолодных нейтронов (УХН)

Представлен проект источников ультрахолодных нейтронов на реакторе ПИК со сверхтекучим гелием в качестве замедлителя. Скорость производства УХН в сверхтекучем гелии

составит $100 \text{ см}^{-3} \cdot \text{с}^{-1}$ при плотности потока нейтронов $\Phi(\lambda = 9 \text{ \AA}) = 10^9 \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{\AA}^{-1}$. При температуре замедлителя 1 К в экспериментальном объеме 35 л может быть достигнута плотность УХН $1,3 \cdot 10^3 \text{ см}^{-3}$, что на 2 порядка величины превышает плотность существующих в мире источников УХН.

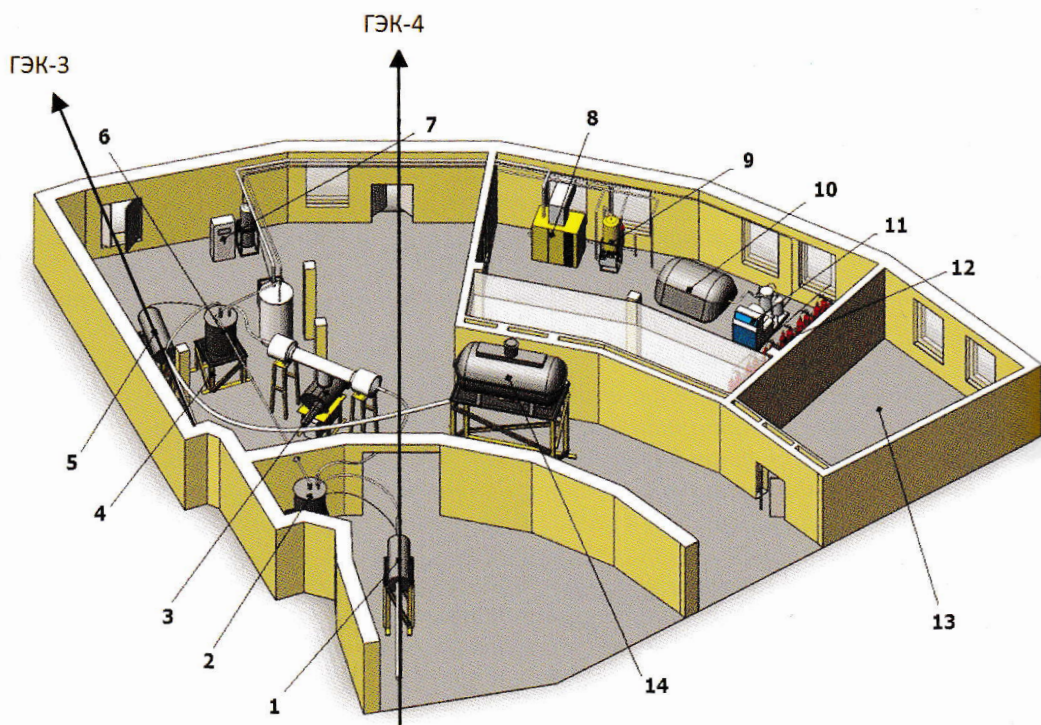


Схема размещения технологического оборудования источника УХН на реакторе ПИК: 1 — источник УХН на ГЭК4; 2 — криостат; 3 — откачная система; 4 — криостат; 5 — источник УХН на ГЭК3; 6 — ожижитель гелия; 7 — осушитель гелия; 8 — компрессор; 9 — ГРП и адсорбер; 10 — газгольдер; 11 — закачной компрессор; 12 — баллонная рампа; 13 — операторная; 14 — экспериментальная установка

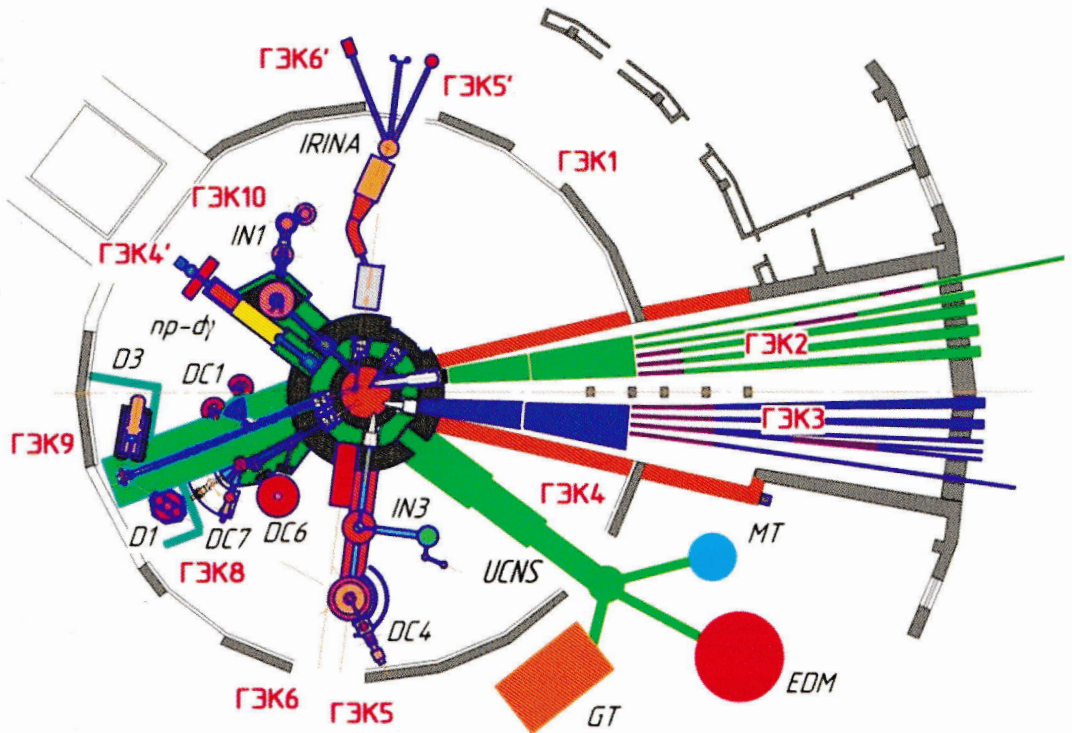
Экспериментальные каналы отражателя

Горизонтальные каналы (ГЭК) выводят нейтроны от ИХН, ИГН и непосредственно из отражателя. Из них, кроме ГЭК1, направленного на активную зону, большинство горизонтальных каналов являются касательными по отношению к активной зоне, что уменьшает фон быстрых нейтронов и гамма-излучения. Поток тепловых нейтронов на выходе каналов — $(0,2-3) \cdot 10^{11} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$. Три канала являются сквозными. Для удобства экспериментов некоторые каналы имеют коробчатую форму с расходящимися боковыми стенками в сторону выхода, что одновременно уменьшает депрессию нейтронного потока на доньшках. Большинство каналов и установок оборудовано элементами нейтронной оптики: нейтронводами, специальными коллиматорами и суперзеркалами.

Наклонные каналы (НЭК) удобны для размещения облучательных устройств (низкотемпературная гелиевая петля, пневмопочта). НЭК позволяют подбирать оптимальные условия по спектральному составу излучения и радиационному энерговыделению.

Вертикальные каналы (ВЭК) расположены преимущественно в области теплового спектра нейтронов.

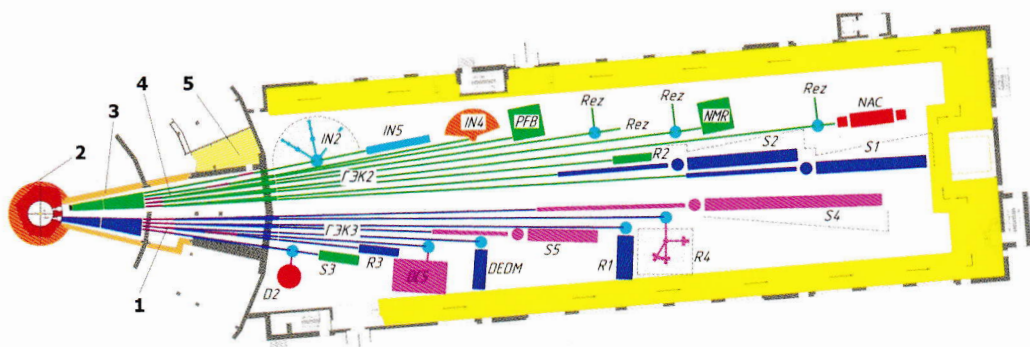
Зал горизонтальных каналов



- | | |
|---|--|
| D1 — суперпозиционный многосекционный порошковый дифрактометр | MT — установка для измерения времени жизни нейтрона с использованием магнитного хранения ультрахолодных нейтронов |
| D3 — порошковый многодетекторный дифрактометр тепловых нейтронов | GT — большая гравитационная ловушка для измерения времени жизни нейтрона |
| DC1 — четырехкружный дифрактометр | EDM — магниторезонансный спектрометр на УХН для измерения ЭДМ-нейтрона |
| IN1 — трехосный спектрометр тепловых нейтронов | np-d — установка «Бета-распад нейтрона» |
| IN3 — трехосный спектрометр поляризованных нейтронов | IRINA — масс-сепараторный лазерно-ядерный комплекс ИРИНА |
| DC4 — дифрактометр поляризованных нейтронов с двумерным детектором POLDI | n4 — установка «Нейтрино» (расположена в подреакторном пространстве) |
| DC6 — текстурный дифрактометр TEX | |
| DC2 — стресс-дифрактометр ARES | |

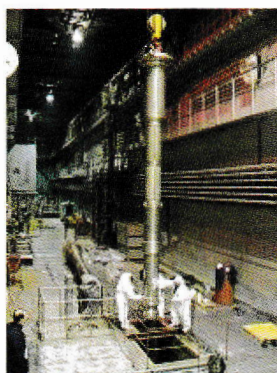
Планируемое размещение экспериментальных станций на выведенных нейтронных пучках в зале горизонтальных каналов

Нейтронный зал



- | | |
|---|--|
| IN2 — трехосный спектрометр холодных нейтронов | D2 — многосчетчиковый порошковый дифрактометр холодных нейтронов |
| IN4 — спектрометр по времени пролета | R1 — рефлектометр поляризованных нейтронов с вертикальной плоскостью отражения REVERANS |
| IN5 — спин-эхо спектрометр | DC5 — дифрактометр на совершенных кристаллах DCD |
| S1 — малоугловой дифрактометр поляризованных нейтронов | S-4 — установка малоуглового рассеяния поляризованных и неполяризованных нейтронов SANS-2 |
| S2 — малоугловой дифрактометр | S-5 — установка малоуглового рассеяния поляризованных нейтронов SANS-3 |
| S3 — установка спин-эхо ультрамалоуглового рассеяния | R4 — рефлектометр на поляризованных нейтронах с анализом поляризации NERO |
| R2 — нейтронно-оптический рефлектометр | |
| R3 — рефлектометр с векторным анализом поляризации | |
| DEDM — установка «ЭДМ нейтрона кристалл-дифракционным методом» | |

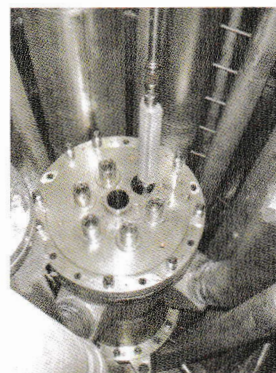
Планируемое размещение экспериментальных станций на выведенных нейтронных пучках в нейтронном зале: 1 — нейтронные каналы ГЭК3; 2 — биологическая защита реактора; 3 — биологическая защита нейтронных каналов; 5 — санитарный пропускник



а)



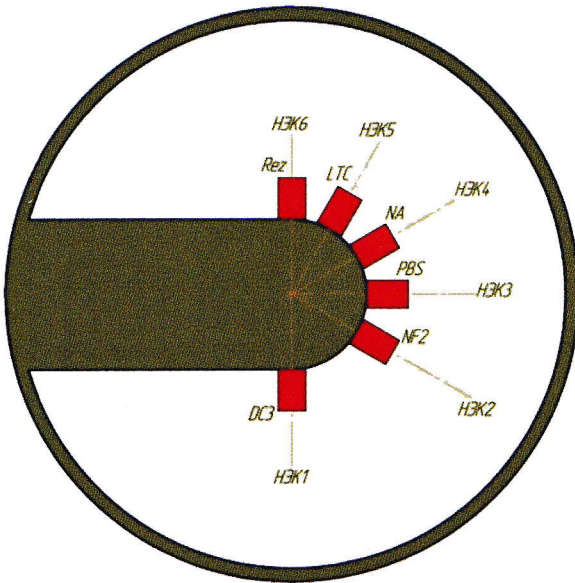
б)



в)

Некоторые этапы сооружения РУ ПИК: а) технологический зал. Установка корпуса, б) зал горизонтальных каналов, в) загрузка имитатора ТВС

Зал наклонных каналов



- NF2 — установка исследования множественности осколков деления
- PBS — спектрометр ядерных излучений.
- NA — установка нейтрон-активационного анализа
- LTC — низкотемпературная гелиевая петля

Планируемое размещение оборудования в зале наклонных каналов

Основные характеристики экспериментальных каналов реактора ПИК

Число горизонтальных каналов	13
Число наклонных каналов	6
Число вертикальных каналов	8
Число источников холодных нейтронов	2
Число источников горячих нейтронов	1
Число нейтроноводов	6
Плотность потока нейтронов на выходе каналов, $\text{см}^{-2}\cdot\text{с}^{-1}$	$(2-3)\cdot 10^{10}$
Плотность потока нейтронов на выходе нейтроноводов, $\text{см}^{-2}\cdot\text{с}^{-1}$	$(1,1-1,4)\cdot 10^{10}$
Число мест для рабочих станций (исследовательских установок)	50 установок

Перспективные направления исследований

Фундаментальные исследования в области физики ядра и элементарных частиц, в том числе:

- поиск электрического дипольного момента;
- исследование β -распада нейтрона;
- поиск и исследования P- и T-неинвариантных эффектов в нейтронных реакциях с тяжёлыми ядрами;
- исследования динамики процесса деления при низких энергиях возбуждения;
- нейтринные эксперименты;
- ядерная спектроскопия на высокопоточном реакторе.

Фундаментальные исследования в области физики конденсированного состояния, в том числе:

- атомные взаимодействия и фазовые переходы в веществе;
- магнитные и сверхпроводящие свойства вещества, эффекты колоссального магнетосопротивления, памяти формы и т. д.;
- неоднородные (магнитные и структурные) состояния вещества;
- электронные, атомные и молекулярные процессы на поверхности и межфазных границах вещества;
- воздействия нейтронного облучения при различных температурах на физические свойства конденсированных сред.

Прикладные и фундаментальные исследования, в том числе:

- определение кристаллической и магнитной структуры вещества;
- исследование физических свойств наноматериалов и нанокompозитов, проводящих полимеров (в обычных и экстремальных условиях, т. е. при низких температурах, в вакууме, при высоком давлении, при воздействии различных видов излучения), органических соединений, биологических объектов, феррожидкостей и других дисперсных систем;
- разработка методов получения радиометаллофуллеренов для целей ядерной медицины;
- исследование связи структурных особенностей и фармакологических свойств различных соединений, используемых при создании лекарственных препаратов;
- исследование материалов и наноматериалов для катализа и водородной энергетики;
- исследование радиационной и механической стойкости материалов, используемых в технике, в частности реакторной и космической;
- исследование радиационной модификации структуры материалов с целью получения новых физико-механических свойств и разработки перспективных технологий.

Прикладные исследования в интересах Минобороны России, Росатома и других организаций, в том числе:

- изучение механизма изменения свойств материалов под действием облучения;
- исследование микромеханизма кинетики разрушения и формирования предразрывного состояния металла;
- трансмутация долгоживущих продуктов отработавшего ядерного топлива;
- динамика накопления осколочных продуктов и продуктов делящихся материалов;
- малоактивируемые стали для АЭС;
- нейтронографические исследования внутренних напряжений в металлах;
- исследования материалов для высокотемпературной сверхпроводимости.

Международное сотрудничество

В настоящее время по поручению Правительства РФ готовится предложение об организации Международного центра нейтронных исследований на базе высокопоточного реактора ПИК. Важной составляющей проекта является привлечение пользователей широкого круга — физиков, химиков, биологов, материаловедов, инженеров. Реализация данного проекта позволит скоординировать и объединить усилия больших международных научных коллективов для работы на территории России, даст возможность молодежи принимать участие в исследованиях и в инновационных процессах во многих областях, будет способствовать росту престижа российской науки в мире.

Первым шагом на пути создания Международного центра нейтронных исследований стало соглашение с Helmholtz Association (Германия) о размещении в нейтроноводном зале реакторного комплекса ПИК станций из Helmholtz-Zentrum Geesthacht для исследований в области физики конденсированного состояния и материаловедения.

Как центр коллективного пользования будущий Международный центр нейтронных исследований будет создаваться на основе тесного взаимодействия ученых различных школ и направлений.

Перспективы использования

Проект реактора ПИК разработан с учетом современных достижений реакторной технологии и требований нормативной документации (НД), действующей в Российской Федерации для исследовательских реакторов. В 1993 г. проект прошел международную экспертизу с участием ведущих специалистов США, Франции, Германии, Великобритании и Комиссии ЕС.

Реактор ПИК по своим параметрам и экспериментальным возможностям не уступает, а по некоторым показателям (общее число позиций на пучках для постановки экспериментальных установок) даже превосходит лучший пучковый исследовательский реактор мира HFR — реактор Института Лауэ — Ланжевена (ILL, Франция). Имеются предпосылки к тому, что после ввода в эксплуатацию реактора ПИК на его базе будет создан Международный научный центр нейтронных исследований.

История

Первоначальная концепция реактора ПИК представлена в описании на изобретение «Пучковый исследовательский ядерный реактор» в авторском свидетельстве Государственного комитета Совета Министров СССР по делам изобретений и открытий № 550034 по заявке 2038057 с приоритетом от 27 июня 1974 г., выданном совместному коллективу сотрудников НИКИЭТ и ЛИЯФ АН СССР. Концепция реактора основана на использовании компактной активной зоны с легководным замедлителем и тяжеловодного отражателя большого объема. Конструкция реактора изначально предусматривала такие решения, как сменный корпус активной зоны и сменные каналы, разборная биологическая защита. Большие экспериментальные объемы с высоким нейтронным потоком и относительная простота размещения новых экспериментальных устройств в тяжелой воде по сравнению с бериллиевым отражателем обеспечивают лучшие возможности при планировании будущих экспериментов.

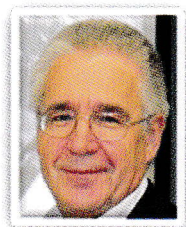
В проекте реакторного комплекса, который разрабатывал ВНИПИЭТ, предусматривалось создание достаточно мощной инфраструктуры зданий и сооружений, обеспечивающих как технологическую поддержку эксплуатации реактора, так и будущих экспериментальных установок.

Вышеуказанные решения заложили основу сохранения актуальности проекта на длительные годы, несмотря на неизбежные изменения конъюнктуры исследований с помощью реакторов в целом и появление совершенно новых тем и направлений в области нейтронных исследований.

Строительство реактора ПИК началось в 1976 г. После Чернобыльской аварии проект реактора был подвергнут полной ревизии и переработке в 1990 г. с учетом новых норм безопасности. В 2007 г. решением Правительства РФ строительство было возобновлено. В 2009 г. был сдан в эксплуатацию первый пусковой комплекс зданий и сооружений, а в 2011 г. был осуществлен физический пуск.

Полностью строительство реакторного комплекса из 38 зданий и сооружений общей площадью 65 000 кв. м завершилось в 2013 г. После завершения строительства предусмотрено начало процедур наладки и испытаний и аттестации систем на соответствие нормативам, оформление разрешений на этапы ввода в эксплуатацию и энергопуск.

Персоны



Смольский Сергей Лаврович

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



Коноплев Кир Александрович

Главный научный сотрудник, чл.-корр. АИН РФ



Серебров Анатолий Павлович

Заведующий отделом нейтронной физики, профессор

Контакты



Мащетов Владимир Петрович

Главный инженер реактора ПИК

Тел.: +7(813)713-09-21;

E-mail: maschetov@pnpi.spb.ru

ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ РЕАКТОР ВВР-М

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