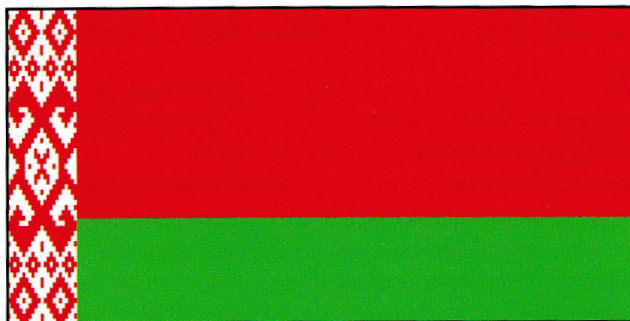


ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ ЯДЕРНЫЕ УСТАНОВКИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

*Исследовательские ядерные установки в Республике Беларусь
эксплуатируются в Государственном научном учреждении
«Объединенный институт энергетических и ядерных
исследований — Сосны» Национальной академии наук Беларуси,
расположенном в городе Минске.*



«ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ И ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ — СОСНЫ» НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК БЕЛАРУСИ



220109, Республика Беларусь, г. Минск, ул. Академика А. К. Красина, 99.
Тел.: +37(517)391-14-48. Факс: +37(517)391-13-35.
E-mail: jjpnr@sosny.bas-net.by; <http://sosny.bas-net.by>

Государственное научное учреждение «Объединенный институт энергетических и ядерных исследований — Сосны» Национальной академии наук Беларуси (ГНУ «ОИЭЯИ — Сосны» НАН Беларуси) является правопреемником Института ядерной энергетики АН БССР, образованного в 1965 г. Институт расположен в г. Минске.



*Красин Андрей
Капитонович
(21.05.1911–
28.03.1981)*

Первым директором института был академик Андрей Капитонович Красин, один из создателей первой в мире АЭС в г. Обнинске, лауреат Ленинской премии.

К этому времени на площадке института были введены в эксплуатацию исследовательский атомный реактор ИРТ-1000, лаборатория реакторов физической мощности, стендовый корпус с теплофизическими экспериментальными установками, сооружались радиохимическая лаборатория и изотопный корпус.

В 1973 г. было создано Специальное конструкторское бюро с опытным производством и осуществлено строительство первой очереди экспериментальной производственной базы со специальными стендами, установками, новыми технологическими процессами по изготовлению и испытаниям изделий атомной техники.

С самого начала своего образования в качестве одного из основных направлений своей деятельности институт занимался разработкой научно-технических основ использования диссоциирующих газов в качестве теплоносителя и рабочего тела ядерных энергетических установок. В институте была создана современная экспериментальная база, позволяющая проводить исследования по физике и безопасности ядерных реакторов различного назначения и базирования. Для экспериментального обоснования разработки новых реакторов использовались исследовательский реактор ИРТ, опытный реактор передвижной АЭС «Памир-630Д», критические и подкритические стенды.

На критических стендах «Роза», «Лилия», «Эдельвейс», «Астра», ГФС и Кристалл было создано и исследовано более ста урансодержащих критических сборок с различным материальным составом, структурной схемой, спектром нейтронов и целевым назначением, включавших уран-водные, уран-спиртовые, уран-гидридциркониевые, уран-полиэтиленовые и без замедлителя размножающие системы с обогащением по ^{235}U от 10 до 90%. В том числе была создана уникальная уран-водная критическая сборка с вихревой активной зоной из шариковых микротрещин. На этих стендах проводились исследования в обоснование разработки и создания ядерных реакторов передвижной АЭС «Памир-630Д», опытно-промышленной АЭС БРИГ-300 и различных модификаций активных зон исследовательского реактора ИРТ с петлевыми каналами. К настоящему времени критические стенды «Роза», «Лилия», «Эдельвейс», «Астра» и ГФС выведены из эксплуатации и демонтированы.



*Генеральный
директор
Кузьмин Андрей
Владимирович*

Для исследований подкритических систем, управляемых внешним источником нейтронов, в 2000 г. был создан подкритический стенд Ялина, на котором были исследованы подкритические сборки: уран-полиэтиленовая с тепловым спектром нейтронов и бустерная уран-полиэтиленовая с центральной областью без замедлителя с быстрым спектром нейтронов.

Для исследований в обоснование разработки малогабаритных ядерных реакторов в 2009 г. был создан критический стенд Гиацинт, на котором, в частности, выполнен комплекс экспериментов для получения бенчмарк данных по критичности уран-водных, уран-гидрид-циркониевых и без замедлителя размножающих систем с высокообогащенным и низкообогащенным ядерным топливом.

В 1962 г. на существующей научно-исследовательской площадке института был введен в эксплуатацию исследовательский реактор ИРТ-2000 тепловой мощностью 2 МВт. В 1976 г. указанный реактор был модернизирован (ИРТ-М) с доведением тепловой мощности до 5 МВт. В 1988 г. реактор ИРТ-М был остановлен и в конце 90-х гг. прошедшего столетия выведен из эксплуатации. Указанный реактор использовался для проведения многочисленных исследований, в первую очередь по атомной энергетике, в частности на нем была создана петлевая установка ГПУ-100П с диссоциирующим теплоносителем на основе тетраоксида азота, на которой исследовались как ампульные образцы конструкционных материалов и топливных композиций, так и конструкции твэлов и тепловыделяющих сборок, а также изучено влияние температуры, давления, нейтронного и гамма-излучения на изменение физико-химических свойств диссоциирующего теплоносителя и др. (отработан весь комплекс проблем, связанных с созданием передвижной АЭС «Памир-630Д»). Кроме того, на этом реакторе проводились научные исследования в различных областях (физики твердого тела и полупроводников, геологии, медицины, радиационной химии и др.), в частности на нем была создана петлевая установка ХЯУ-5 для изучения радиационно-химических процессов под действием осколков деления (получение гидразина из аммиака).

Взамен выведенного из эксплуатации реактора ИРТ-М в институте планировалось построить новый исследовательский реактор, но в связи с распадом СССР это не было осуществлено. В настоящее время в институте совместно с предприятиями Госкорпорации «Росатом» проводятся работы в обоснование создания нового исследовательского реактора бассейнового типа.

В кооперации с рядом предприятий ядерного комплекса СССР в институте была создана передвижная АЭС «Памир-630Д», которая имела выходную электрическую мощность 630 кВт и состояла из пяти основных блоков: реакторного, турбогенераторного, системы контроля управления и защиты и вспомогательного. В качестве теплоносителя и рабочего тела в одноконтурном газожидкостном цикле преобразования тепла с воздушным охлаждением конденсатора турбины применялся диссоциирующий тетраоксид азота с добавлением оксида азота. Малогабаритный реактор станции имел тепловую мощность 5 МВт.

Оборудование станции было смонтировано на полуприцепах, которые могли транспортироваться с помощью автомобильных тягачей. Блоки станции имели массу и габаритные размеры, обеспечивающие возможность их транспортирования также железнодорожным, воздушным и водным транспортом. Испытания первого опытного образца АЭС «Памир-630Д» проводились в 1986–1988 гг. Установка была выведена из эксплуатации, демонтирована и захоронена в 1990 г.

В настоящее время институт в основном специализируется в таких областях научно-исследовательских работ, как взаимодействие излучения с веществом, научное сопровождение строительства АЭС в Республике Беларусь, научно-техническое обоснование (определение концептуальных решений) создания перспективных ядерных реакторов (в том числе

с насыпной и вихревой активными зонами с шариковыми микровзлами) и энергетических установок на их основе, обращение с радиоактивными отходами и отработавшим ядерным топливом, использование источников ионизирующего излучения в народном хозяйстве. В состав экспериментальной базы института сейчас входят критические стенды Гиацинт и Кристалл, подкритический стенд Ялина, гамма-установка УГУ-420, комплекс горячих камер, теплофизические стенды, ускорительный комплекс и другое экспериментальное оборудование.

Исследовательские ядерные установки ОИЭЯИ — Сосны

Тип ИЯУ	Название ИЯУ	Мощность тепловая, кВт	Год физического пуска	Состояние	Длительность эксплуатации, лет*
ИР	ИРТ-М	5 000	1962	Выведен из эксплуатации	26
ИР	Памир-630Д	5 000	1986	Выведен из эксплуатации	3
КС	Гиацинт	0,100	2009	Действующий	6
КС	Кристалл	0,100	1981	Действующий	34
ПКС	Ялина	0,030	2000	Действующий	15

* — на 2015 г. или до момента останова.

КРИТИЧЕСКИЙ СТЕНД ГИАЦИНТ

Критический стенд Гиацинт (КС Гиацинт), физический пуск которого осуществлен в 2009 г., предназначен для решения широкого круга задач по развитию ядерных энергетических технологий как фундаментального, так и прикладного характера.

Срок эксплуатации критического стенда Гиацинт не назначался.

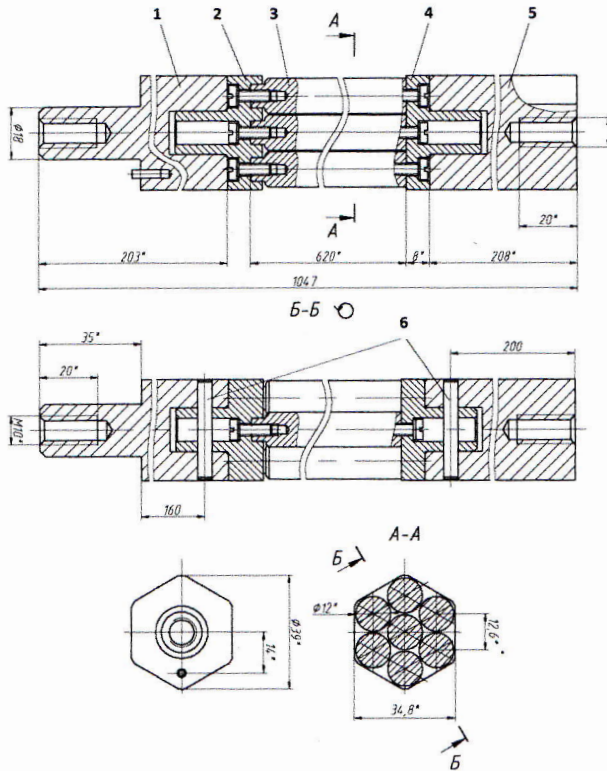
Основные технические характеристики КС Гиацинт

Мощность тепловая, макс., кВт	0,1
Топливо	$U_{мет.}, UO_2, UZrCN, UO_2-Mg$
Обогащение топлива по ^{235}U , %	90; 75; 36; 21; 19,75; 10; естественный
Замедлитель	Дистиллят, раствор борной кислоты, гидрид циркония и др.
Отражатель	Дистиллят, раствор борной кислоты, гидрид циркония, бериллий, обедненный уран, нержавеющая сталь и др.
Запас реактивности, $\beta_{эфф}$	до 0,7
Плотность потока нейтронов, макс., $см^{-2} \cdot с^{-1}$	10^9
Теплоотвод	Естественная конвекция воздуха
Температура, °С	Комнатная (до 90 для критических сборок с водяным замедлителем)

Критический стенд Гиацинт имеет в своем составе:

- критическую сборку, которая может использоваться для изучения физических характеристик активных зон ядерных реакторов с жидким замедлителем (вода и др.), твердым замедлителем (гидрид циркония и др.) и без замедлителя;
- гидравлическую систему для работы с жидким замедлителем;
- систему управления и защиты;
- систему сбора, обработки и хранения экспериментальных данных;
- систему радиационного и дозиметрического контроля;

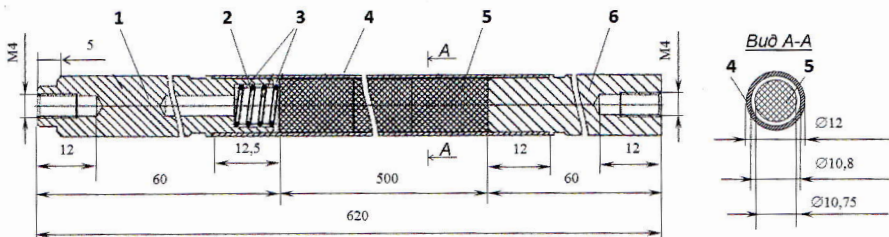
- систему связи и теленаблюдения;
- систему физической защиты;
- ряд других инженерных систем, необходимых для обеспечения его эксплуатации.



Бесчехловая топливная кассета: 1 — хвостовик; 2 — трубная доска; 3 — твэлы; 4 — головка-концевик; 5 — головка; 6 — штифт

Ядерное топливо

Твэлы могут размещаться в чехловых и бесчехловых топливных кассетах (тепловыделяющих сборках) различных типов, в частности один из типов бесчехловых кассет и содержащихся в них твэлов с топливным сердечником на основе уранциркониевого карбонитрида с обогащением 19,75% ^{235}U показан на рисунке.



Твэл с топливным сердечником на основе уран-циркониевого карбонитрида с обогащением 19,75% по ^{235}U : 1 — пробка нижняя; 2 — пружина; 3 — прокладки; 4 — оболочка; 5 — топливная секция; 6 — пробка верхняя

Основные технические характеристики ядерного топлива КС Гиацинт

Топливная композиция	Обогащение по ^{235}U	Топливный сердечник твэлов (длина × диаметр), мм	Оболочка твэлов (длина × диаметр × толщина), мм
$\text{U}_{\text{мет.}}$ (таблетки)	90	500×6,4	08X18H10T, 620×7×0,2
UO_2 (порошок)	75	250×4	ЭЯ1Т, 266×4,5×0,25
UO_2 (таблетки)	36	500×6,4	08X18H10T, 620×7×0,2
UO_2 (порошок)	36	500×6,3	0X16H15MЗБ, 620×7×0,35
UO_2 (таблетки)	21	500×5,2	0X16H15MЗБ, 651×6,2×0,4
UZrCN (таблетки)	19,75	500×10,75	06X18H10T, 620×12×0,6
UZrCN (таблетки)	19,75	500×10,75	Н6Ц-1, 620×12×0,6
$\text{UO}_2\text{-Mg}$ (стержень)	10	500×7	АМСН, 588×10×1,5
$\text{U}_{\text{мет.}}$ (таблетки)	естественный	500×6,4	X18H10T, 620×7×0,2

В качестве рабочих органов регулирования используются поглощающие стержни и пластины, содержащие оксид европия, карбид бора (в том числе с обогащением до 85% по ^{10}B), кадмий и другие поглощающие материалы.

Система управления и защиты (СУЗ) критического стенда Гиацинт включает в себя следующие элементы:

- каналы контроля и аварийной защиты;
- подсистему управления исполнительными механизмами рабочих органов (ИМ РО) СУЗ и нейтронного источника;
- подсистему управления гидравлической системой (для критсборок с водяным замедлителем);
- подсистему аварийной защиты (АЗ);
- подсистему сигнализации;
- подсистему питания.

Гидравлическая система критического стенда Гиацинт предназначена для хранения водяного замедлителя, дозированного залива с определенной скоростью замедлителя в бак критсборки, слива замедлителя в рабочем и аварийном режимах из бака критсборки, утилизации замедлителя после его использования. В качестве водяного замедлителя используется дистиллированная вода (дистиллят) или водный раствор борной кислоты.

Каналы контроля и аварийной защиты:

- два независимых токовых канала контроля с функцией аварийной защиты по уровню мощности, регистрирующих нейтроны;
- один независимый токовый канал контроля с функцией аварийной защиты по периоду удвоения мощности, регистрирующий нейтроны;
- один независимый токовый канал контроля уровня мощности и реактивности, регистрирующий нейтроны;
- три независимых импульсных канала контроля с функциями аварийной защиты по уровню мощности и периоду удвоения мощности, регистрирующих нейтроны;
- один независимый импульсный канал контроля мощности дозы гамма-излучения;
- два независимых канала контроля уровня водяного замедлителя в баке критсборки (для критсборок с водяным замедлителем);
- один независимый канал контроля уровня водяного замедлителя в дозирующем устройстве (для критсборок с водяным замедлителем);

- один независимый канал контроля температуры в отражателе критсборки с двумя датчиками (в баке критсборки для критсборок с водяным замедлителем);
- один независимый канал контроля температуры водяного замедлителя в баке замедлителя (для критсборок с водяным замедлителем);
- один независимый канал контроля температуры замедлителя в баке дистиллята или в баке раствора борной кислоты с двумя датчиками (для критсборок с водяным замедлителем).

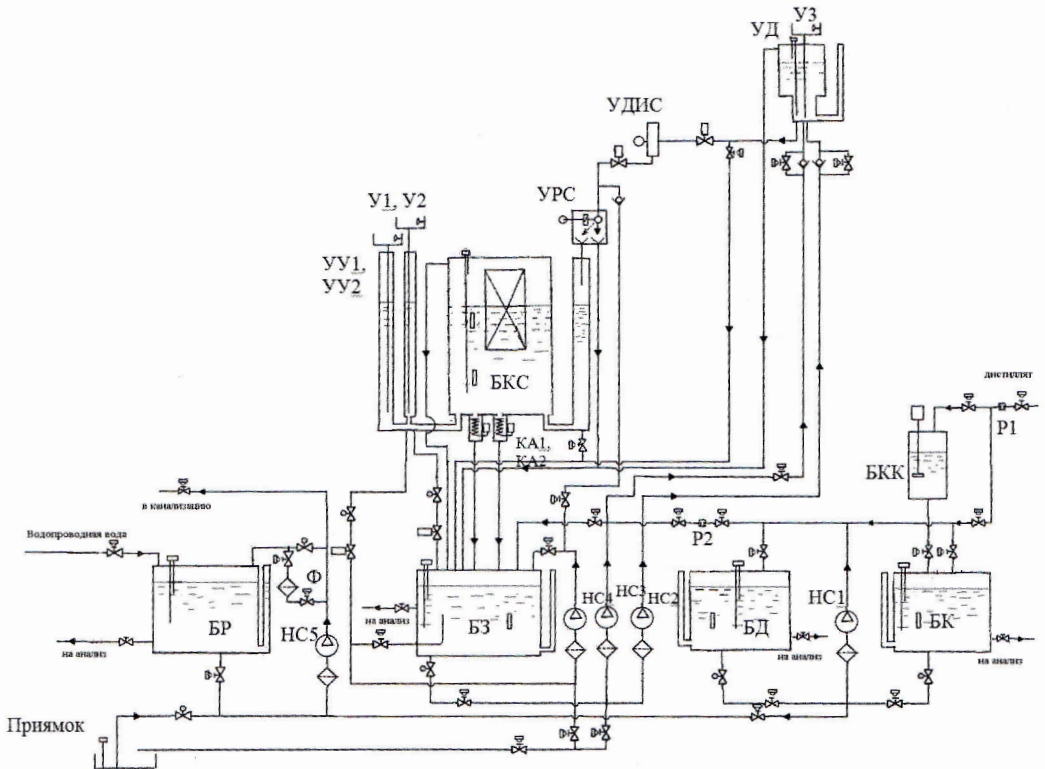


Схема гидравлической системы критического стенда Гиацинт: БКС — бак критсборки; БЗ — бак замедлителя; БК — бак раствора борной кислоты; БД — бак дистиллята; БКК — бак концентрированной борной кислоты; БР — бак растворный; ДУ — дозирующее устройство; УДИС — устройство дистанционного изменения скорости залива; УРС — устройство разрыва струи; НС1, ..., НС5 — насосы; У1, ..., У3 — уровнемеры; УУ1, УУ2 — уровнемерные устройства; КА1, КА2 — клапаны аварийного слива; Р1, Р2 — разъемные соединения; Ф — ионообменный фильтр

Система сбора, обработки и хранения экспериментальных данных критического стенда Гиацинт имеет в своем составе следующие экспериментальные установки:

- установку для измерения аксиального и радиального распределения энерговыделения в активной зоне и распределения урана по длине твэла;
- импульсный генератор нейтронов (максимальный поток в импульсе $1 \times 10^{10} \text{ с}^{-1}$, длительность импульса 0,7–1,2 мкс, частота генерации 1–100 Гц);
- установку для измерения радиального интегрального распределения энерговыделения в активной зоне;
- цифровой измеритель реактивности;

- установку для анализа флуктуаций нейтронов во временной области (измерение абсолютной мощности критической сборки, параметра кинетики ($\beta_{эфф}/\lambda$) и др.) и другие измерительные установки.



Пульт управления критического стенда Гиацинт

Экспериментальные возможности

На критическом стенде Гиацинт могут быть выполнены следующие эксперименты по обоснованию параметров, оптимизации состава и конструкции разрабатываемых малогабаритных реакторов различного назначения:

- определение критических параметров для различных конфигураций критическихборок;
- измерение эффективности одиночных и групп РО СУЗ и их интерференции;
- калибровка одиночных РО СУЗ;
- определение эффективности растворенной в водяном замедлителе борной кислоты, твэлов, ТВС, различных материалов и образцов;
- определение запаса реактивности;
- измерение реактивности (подкритичности) различными методами, в том числе без выхода в критическое состояние;
- измерение спектральных (энергетических) характеристик нейтронов;
- измерение аксиального и радиального распределения плотности потока нейтронов и энерговыделения (в том числе его профилирование) в активной зоне;
- измерение параметров кинетики;
- измерение абсолютной мощности критической сборки;
- неразрушающий контроль твэлов, ТВС и РО СУЗ на содержание делящихся и поглощающих материалов на основе критических исследований и измерения реактивности и др.

В настоящее время разрабатывается система нагрева водяного замедлителя до 90 °С для измерения температурных коэффициентов и эффектов реактивности уран-водных критическихборок. Планируется разработка контура циркуляции водяного замедлителя для

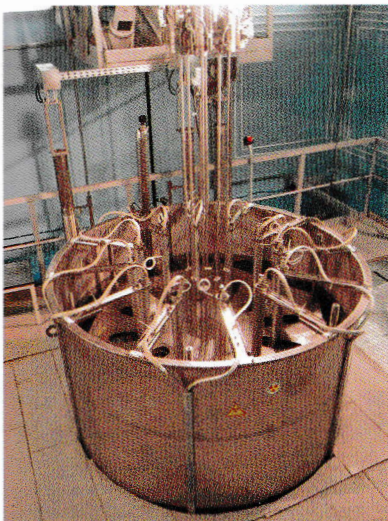
исследования критических сборок с насыпной и вихревой активными зонами на основе шариковых микротвэлов.

Основная деятельность

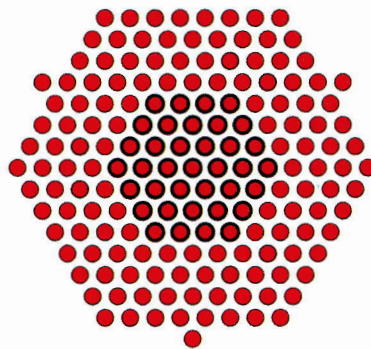
На критическом стенде Гиацинт для получения бенчмарк данных по критичности исследуются критические сборки с водяным и гидридциркониевым замедлителем и без замедлителя, в том числе:

- критические уран-водные сборки с однородной гексагональной решеткой твэлов с обогащением 19,75%, 21, 36 и 90% по ^{235}U ;
- критические уран-водные сборки с однородной гексагональной решеткой твэлов с обогащением 21%, 36 и 90% по ^{235}U с гомогенным боросодержащим поглотителем в воде;
- критические уран-водные сборки с двойными гексагональными решетками из твэлов с обогащением 21%, 36 и 90% по ^{235}U и дискретных боросодержащих поглотителей;
- критические уран-гидридциркониевые сборки с однородными решетками кассет с твэлами с обогащением 21% по ^{235}U и составным гидридциркониево-стальным отражателем;
- критические уран-гидридциркониевые двухзонные сборки из кассет с твэлами с обогащением 21% по ^{235}U , поглощающими боросодержащими лентами в кассетах центральной зоны и составным гидридциркониево-стальным отражателем;
- критические уран-гидридциркониевые двухзонные сборки из кассет с твэлами с обогащением 21% по ^{235}U , поглощающими боросодержащими лентами в кассетах центральной зоны и поглощающими боросодержащими стержнями и бериллиевым отражателем;
- критические сборки из кассет с твэлами с обогащением 36% и 90% по ^{235}U без замедлителя в активной зоне и с составным бериллиево-стальным отражателем.

Для проведения бенчмарк экспериментов по критичности осуществляется разработка критических сборок без замедлителя, содержащих в активной зоне кассеты с твэлами на основе уранциркониевого карбонитрида с обогащением 19,75% по ^{235}U с составным бериллиево-стальным отражателем.



Критическая сборка с водяным замедлителем

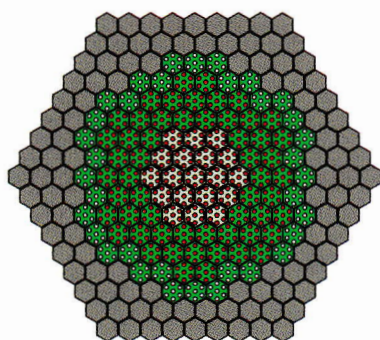






- — твэл с обогащением 19,75% по ^{235}U с оболочкой из 06X18H10T
- — твэл с обогащением 19,75% по ^{235}U с оболочкой из НБЦ-1

Картограмма загрузки критической сборки с водяным замедлителем



Критическая сборка с гидридциркониевым замедлителем

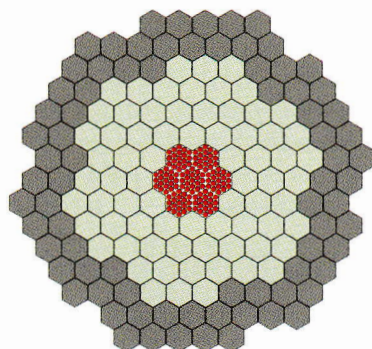





-  — кассета с твэлами с обогащением 21% по ^{235}U и лентами выгорающего поглотителя
-  — кассета с твэлами с обогащением 21% по ^{235}U
-  — кассета гидридциркониевого отражателя
-  — блок стального отражателя

Картограмма загрузки критической сборки с гидридциркониевым замедлителем



Критическая сборка без замедлителя



-  — кассета с твэлами с обогащением 90% по ^{235}U
-  — блок бериллиевого отражателя
-  — блок стального отражателя

Картограмма загрузки критической сборки без замедлителя

Международное сотрудничество

В рамках международного сотрудничества на критическом стенде Гиацинт проводятся совместные с российскими, американскими и южнокорейскими ядерными центрами эксперименты по получению бенчмарк данных по критичности урансодержащих нейтронных размножающих систем с водяным и гидридциркониевым замедлителями и без замедлителя. Планируется проведение совместных работ по исследованию физических особенностей активных зон перспективных реакторов на быстрых нейтронах (в том числе малогабарит-

ных), охлаждаемых газовыми и жидкометаллическими теплоносителями. Также рассматривается возможность проведения экспериментальных исследований уран-водных критических сборок с вихревой и насыпной активными зонами на основе шариковых микротвэлов.

Контакты



Сикорин Святослав Николаевич

Заведующий лабораторией экспериментальной физики и ядерной безопасности реакторных установок

Тел.: +37(517)391-14-01, +37(517)391-18-59. Факс: +37(517)391-13-35.

E-mail: sikorin@sosny.bas-net.by



Мандик Сергей Геннадьевич

Начальник стенда Гиацинт

Тел.: +37(517)391-14-07. Факс: +37(517)391-13-35.

E-mail: msg@sosny.bas-net.by

КРИТИЧЕСКИЙ СТЕНД КРИСТАЛЛ

Критический стенд Кристалл (КС Кристалл) предназначен для экспериментальных исследований в обоснование разработки малогабаритных ядерных реакторов. Ранее использовался при создании реактора передвигной АЭС «Памир-630Д». Физический пуск критического стенда Кристалл осуществлен в декабре 1981 г.

Срок эксплуатации критического стенда Кристалл не назначался. В 2009 г. осуществлена реконструкция основного технологического оборудования стенда (кроме системы управления и защиты). В настоящее время критический стенд Кристалл находится в режиме длительного останова.

Основные технические характеристики КС Кристалл

Мощность тепловая, макс., кВт	0,1
Топливо	UO ₂
Обогащение топлива по ²³⁵ U, %	36; 21
Замедлитель	гидрид циркония и др.
Отражатель	гидрид циркония, плексиглас, сталь и др.
Запас реактивности, β _{эфф}	до 0,7
Плотность потока нейтронов, макс., см ⁻² ·с ⁻¹	109
Теплоотвод	естественная конвекция воздуха
Температура	комнатная

Ядерное топливо

Твэлы размещаются в топливных кассетах (ТВС) различных типов, в частности, один из наиболее часто используемых типов ТВС с гидридом циркония и твэлами с топливным сердечником на основе диоксида урана с 21% обогащением по ²³⁵U показан на рисунке.

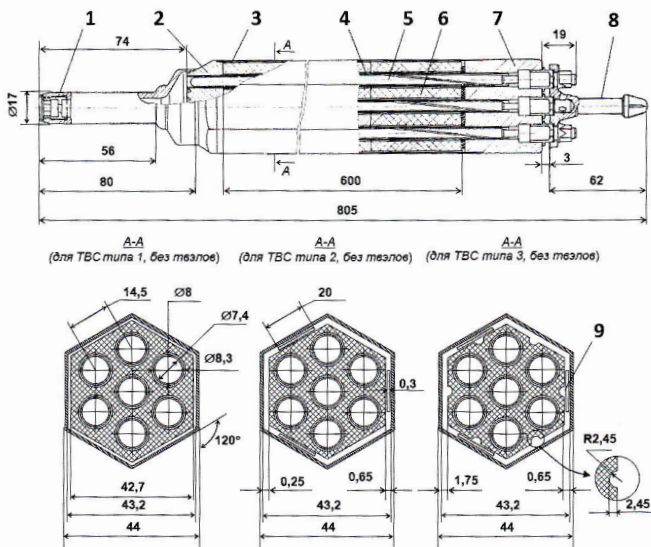
Основные технические характеристики ядерного топлива КС Кристалл

Топливная композиция	Обогащение по ²³⁵ U	Оболочка твэлов (длина × диаметр × толщина), мм	Топливный сердечник твэлов (длина × диаметр), мм
UO ₂ (таблетки)	36	08X18H10T, 620×7×0,2	500×6,4
UO ₂ (порошок)	36	0X16H15M3Б, 620×7×0,35	500×6,3
UO ₂ (таблетки)	21	0X16H15M3Б, 651×6,2×0,4	500×5,2

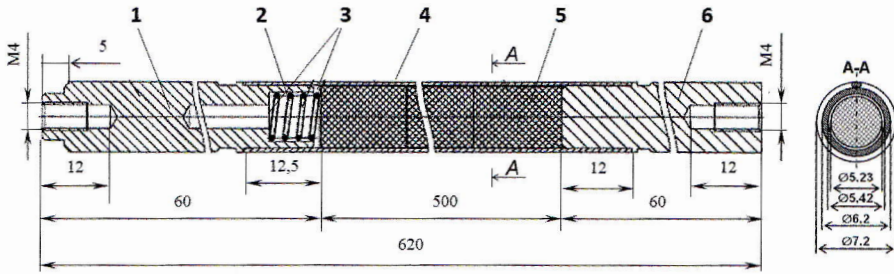
В качестве рабочих органов регулирования используются поглощающие стержни и пластины, содержащие оксид европия, карбид бора (в том числе с обогащением до 85% по ¹⁰B), кадмий и другие материалы.

В состав основного технологического оборудования критического стенда Кристалл входят:

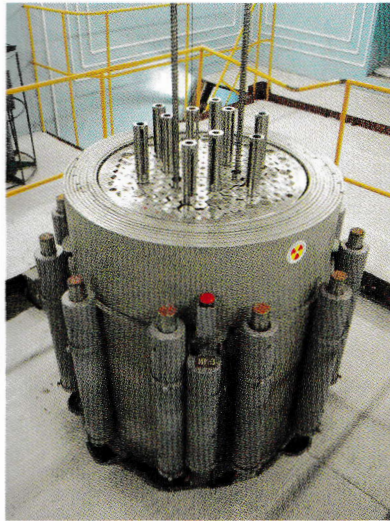
- корпус критсборки (корзина) с расположенной в нем активной зоной и отражателем;
- система управления и защиты (СУЗ);
- исполнительные механизмы рабочих органов (ИМ РО) СУЗ;
- нейтронный источник с дистанционным управлением;
- верхняя площадка СУЗ;
- нижняя площадка СУЗ;
- временное (оперативное) хранилище ядерного топлива;
- система физической защиты и другое оборудование.



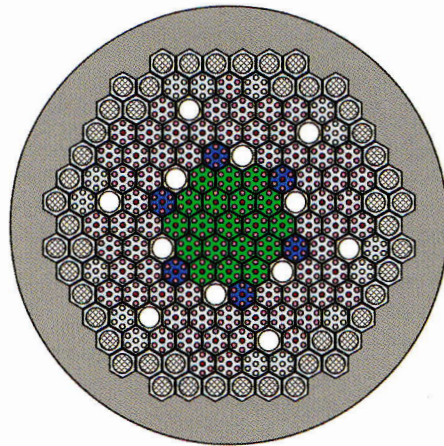
Топливная кассета с гидридциркониевым замедлителем: 1 — хвостовик; 2 — нижняя трубная доска; 3 — обечайка; 4 — обсадная трубка; 5 — твэл; 6 — блоки гидрида циркония; 7 — верхняя трубная доска; 8 — головка; 9 — лента с выгорающим поглотителем









ТВЭЛ с сердечником из диоксида урана с 21% обогащением по ^{235}U : 1 — пробка верхняя; 2 — пружина; 3 — фиксатор; 4 — оболочка; 5 — топливный сердечник; 6 — дистанционирующая проволока; 7 — фиксатор; 8 — пробка нижняя



Критическая сборка с гидридциркониевым замедлителем



-  — кассета с ТВЭлами с обогащением 36% и 21% по ^{235}U и гидридом циркония $\text{ZrH}_{1,9}$
-  — кассета с ТВЭлами с обогащением 36% и 21% по ^{235}U , гидридом циркония $\text{ZrH}_{1,9}$ и борсодержащими с обогащением 85% по ^{10}B лентами выгорающего поглотителя
-  — кассета с ТВЭлами с обогащением 36% и 21% по ^{235}U с уменьшенным содержанием гидрида циркония $\text{ZrH}_{1,9}$ и борсодержащими с обогащением 85% по ^{10}B лентами выгорающего поглотителя
-  — блок отражателя с гидридом циркония и плексиглазом
-  — кассета гидридциркониевого $\text{ZrH}_{1,9}$ отражателя
-  — рабочий орган СУЗ

Картограмма загрузки критической сборки с гидридциркониевым замедлителем

Система управления и защиты критстенда включает в себя следующие элементы:

- каналы контроля и аварийной защиты;
- подсистему управления ИМ РО СУЗ и нейтронного источника;

- подсистему аварийной защиты;
- подсистему сигнализации;
- подсистему питания.

Каналы контроля и аварийной защиты:

- два независимых токовых канала контроля с функцией аварийной защиты по уровню мощности;
- один независимый токовый канал аварийной защиты по реактивности с функцией контроля мощности;
- один независимый токовый канал контроля уровня мощности и реактивности;
- один независимый токовый канал контроля уровня мощности с регистрирующим устройством;
- три независимых импульсных канала контроля уровня мощности.

Экспериментальные возможности

На критическом стенде Кристалл могут быть выполнены следующие эксперименты по определению нейтронно-физических характеристик и обоснованию ядерной безопасности малогабаритных ядерных реакторов:

- определение критических параметров реакторных систем;
 - измерение эффективности одиночных и систем РО СУЗ и их интерференции;
 - калибровка эффективности одиночных РО СУЗ;
 - определение запаса реактивности реакторных систем;
 - измерение эффективности твэлов, ТВС, различных материалов и образцов;
 - измерение спектральных (энергетических) характеристик нейтронов;
 - измерение аксиального и радиального распределения плотности потока нейтронов и энерговыделения (в том числе его профилирования) в активной зоне;
 - измерение параметров кинетики;
 - измерение абсолютной мощности критической сборки;
 - неразрушающий контроль твэлов, ТВС, РО СУЗ на содержание делящихся и поглощающих материалов (на основе критических исследований и измерений реактивности) и др.
- Облучательный канал может создаваться в центральной области активной зоны критической сборки, специально предназначенной для испытаний электрорадиоизделий и аппаратуры на радиационную стойкость.

Наиболее значимые работы

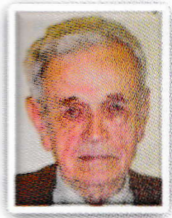
На критическом стенде Кристалл проводились исследования по обеспечению создания реактора передвижной АЭС «Памир-630Д».

Результаты ряда экспериментов по разработке этого реактора опубликованы в статьях в научных журналах и трудах международных конференций.

Международное сотрудничество

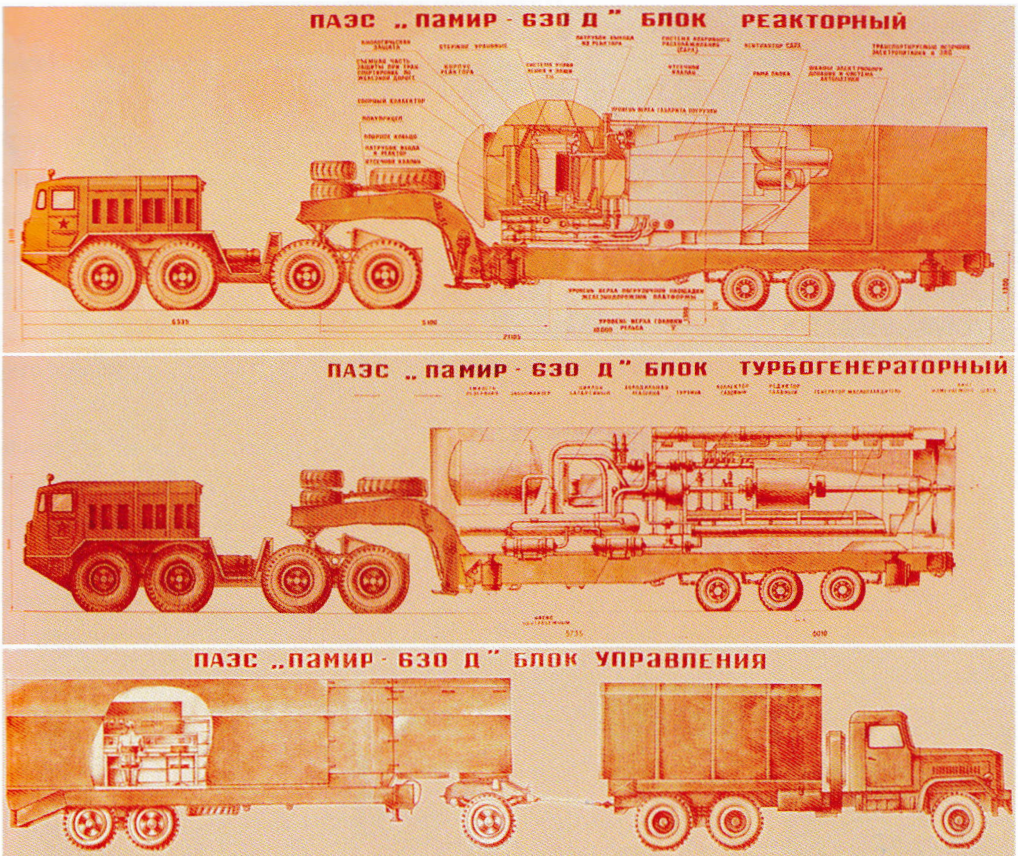
В рамках международного сотрудничества планируется проведение совместных с российскими и американскими ядерными центрами экспериментов по исследованию физических особенностей активных зон (в том числе их фрагментов) реакторов на быстрых нейтронах, охлаждаемых газовыми и жидкометаллическими теплоносителями. Осуществляется разработка критическихборок для проведения таких исследований.

Персоны



Ярошевич Олег Иванович

Ведущий научный сотрудник, кандидат технических наук, профессор



Передвижная АЭС «Памир-630Д»

Контакты



Сикорин Святослав Николаевич

Заведующий лабораторией экспериментальной физики и ядерной безопасности реакторных установок

Тел.: +37(517)391-14-01, +37(517)391-18-59. Факс: +37(517)391-13-35.

E-mail: sikorin@sosny.bas-net.by

ПОДКРИТИЧЕСКИЙ СТЕНД ЯЛИНА

Физический пуск подкритического стенда Ялина (ПКС Ялина) осуществлен 12.04.2000 г.

Реконструкции не проводились.

В состав подкритического стенда Ялина входят: генератор нейтронов НГ-12-1, уран-полиэтиленовая (тепловая) «Ялина-Тепловая» и бустерная (быстро-тепловая) «Ялина-Бустер», подкритические сборки, измерительный комплекс, система физической защиты и системы жизнеобеспечения.

Подкритический стенд Ялина предназначен для исследований подкритических систем, управляемых внешним источником нейтронов.

При работе внешнего источника нейтронов (генератора нейтронов) в импульсном режиме в активной зоне подкритической системы формируются импульсы нейтронов, длина и спектр которых определяются материальным составом и уровнем подкритичности активной зоны. Такие возможности подкритических систем с внешним источником нейтронов представляют значительный интерес для исследований в области термоядерного синтеза и подкритических бланкет, управляемых ускорителями протонов высоких энергий, которые предназначены для производства энергии, нейтронов и трансмутации радиоактивных отходов ядерного топливного цикла.

Подкритический стенд Ялина представляет собой нейтронно-физический исследовательский комплекс, включающий две подкритические сборки с максимальным коэффициентом размножения нейтронов ($k_{\max} \leq 0,975$) и системы мониторинга выхода нейтронов в реакциях синтеза: $D(D, n)_2^3He$ и $D(T, n)_2^4He$.

Одним из основных элементов стенда является генератор нейтронов НГ-12-1, который представляет собой ускоритель ионов дейтерия с магнитной сепарацией ускоренного пучка и мишенный узел с титан-третиевой или титан-дейтериевой мишенью.

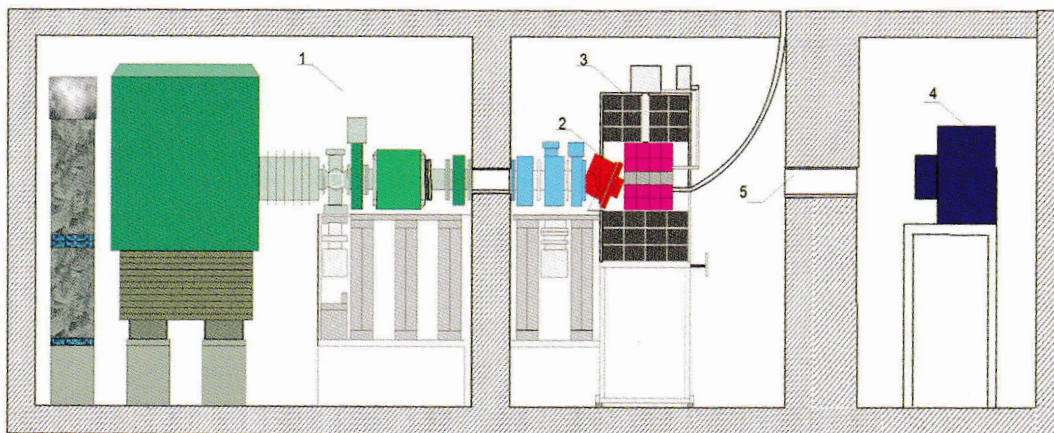
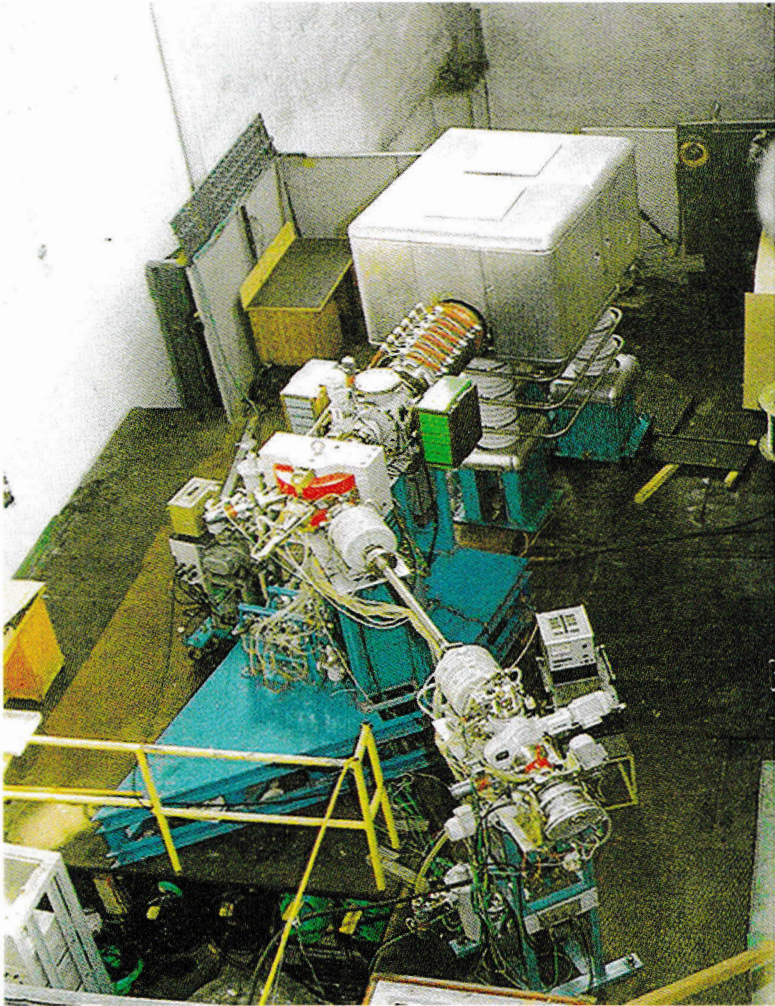


Схема подкритического стенда Ялина: 1 — нейтронный генератор; 2 — Ti-2H или Ti-3H мишень; 3 — подкритическая сборка; 4 — γ -сепаратор; 5 — коллиматор

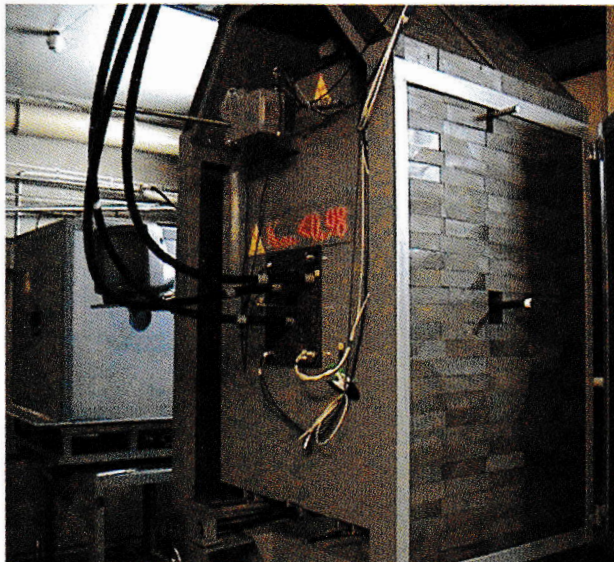


Общий вид генератора нейтронов НГ-12-1

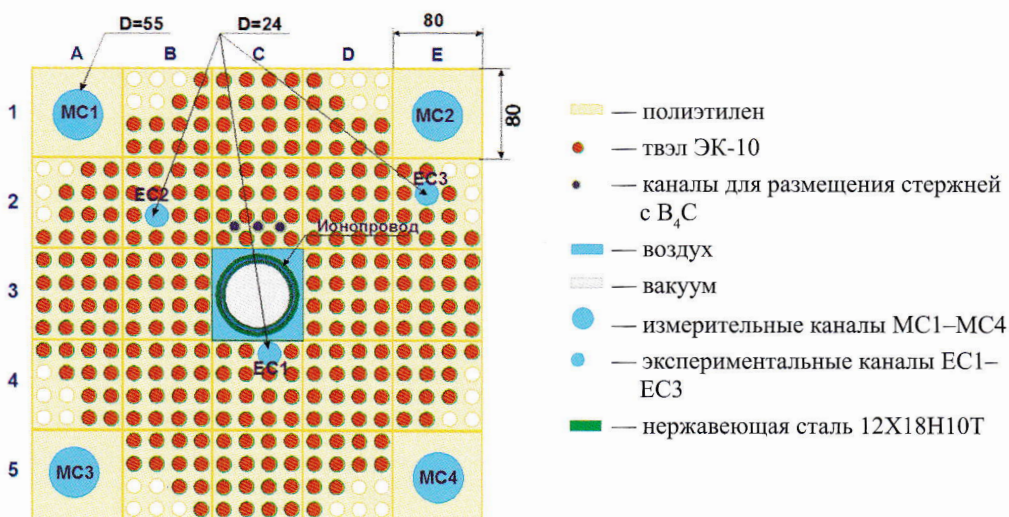
Основные параметры нейтронного генератора НГ-12-1

Ускоряющее напряжение, кВ	150–250
Интенсивность нейтронов, с^{-1} :	
— TiD -мишень	$2-3 \cdot 10^{10}$
— TiT -мишень	$1,5 \cdot 10^{12}$
Диаметр пучка, мм	20–30
Максимальный ток пучка ионов D^+ , мА	12
Энергия нейтронов $\langle E_n \rangle$, МэВ:	
— d,d -режим	2,5
— d,t -режим	14,0
Параметры импульсного режима:	
— длина импульса, мкс	1–100
— частота повторения, Гц	1–10 000

Эти параметры позволяют проводить экспериментальные исследования по гибридным энергетическим системам, основанным на синтезе реакций расщепления и деления, трансмутации (уничтожения) радиоактивных долгоживущих элементов ядерного топливного цикла, решать широкий круг прикладных задач в области геологии, сельского хозяйства, микроэлектроники и т. д. Кроме того, в активной зоне подкритической сборки при работе генератора нейтронов в импульсном режиме ($0,5 \text{ мкс} < \tau < 100 \text{ мкс}$) будут формироваться потоки быстрых ($E > 0,1 \text{ МэВ}$) и тепловых нейтронов в микро- и миллисекундных интервалах времени, что представляет особый интерес для проведения экспериментов в импульсных нейтронных полях.



Общий вид уран-полиэтиленовой подкритической сборки «Ялина-Тепловая»



Картограмма активной зоны подкритической сборки с тепловым спектром нейтронов ($k_{\text{max}} < 0,98$)

Топливо UO_2 с 10% обогащением по ^{235}U . Замедлитель — полиэтилен, отражатель — графит, максимальная интенсивность нейтронов — 10^9 с^{-1} .

Подкритическая сборка предназначена для нейтронно-физических исследований.

Замедлитель в быстрой зоне — свинец, в тепловой зоне — полиэтилен, отражатель — графит, максимальная интенсивность быстрых нейтронов — до 10^9 с^{-1} , тепловых — до 10^9 с^{-1} .

Охлаждение активной зоны — воздушное, производится естественной конвекцией.

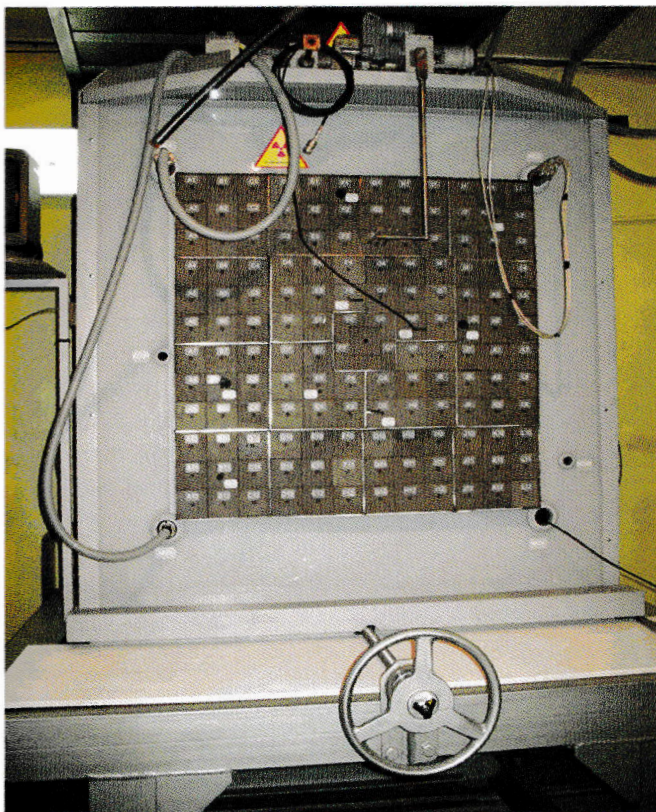
Проведены исследования с несколькими конфигурациями активной зоны ПКС «ЯЛИНА-Бустер»:

1-я — U_m 90% ^{235}U обогащения во внутренней зоне быстрой зоны; UO_2 36% ^{235}U обогащения во внешней зоне быстрой зоны, UO_2 10% ^{235}U обогащения в тепловой зоне;

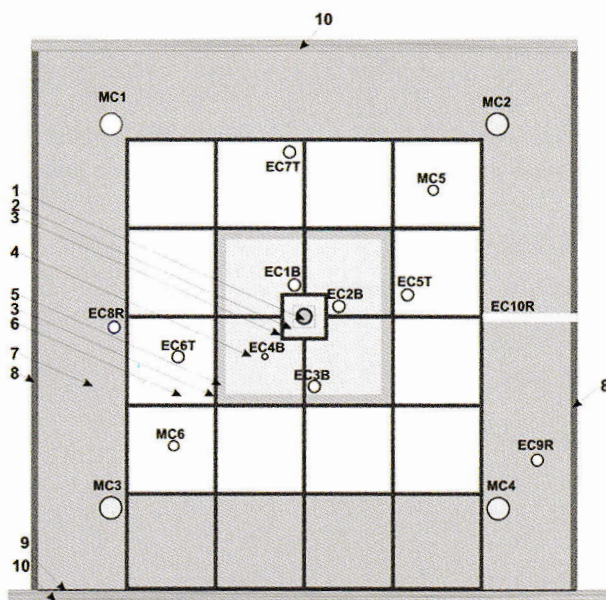
2-я — UO_2 36% ^{235}U обогащения во внешней зоне быстрой зоны, UO_2 10% ^{235}U обогащения в тепловой зоне;

3-я — UO_2 21% ^{235}U обогащения во внешней зоне быстрой зоны, UO_2 10% ^{235}U обогащения в тепловой зоне;

4-я — цилиндрическая быстрая и промежуточная зоны; UO_2 21% ^{235}U обогащения во внешней зоне быстрой зоны, UO_2 10% ^{235}U обогащения в тепловой зоне.

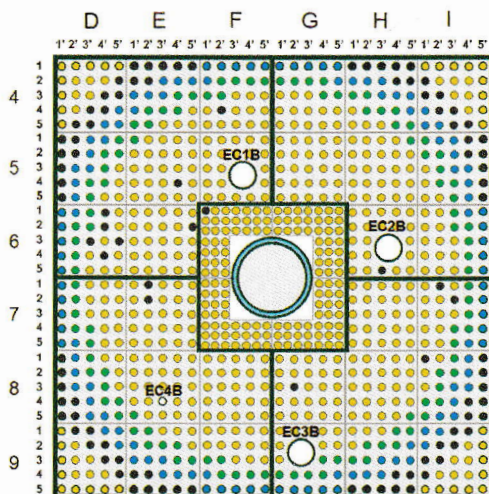


Подкритическая сборка «Ялина-Бустер»



- 1 — мишень
- 2 — быстрая зона с топливом $U_{мет.}$ 90%-го обогащения
- 3 — каркас из нержавеющей стали
- 4 — быстрая зона с топливом UO_2 36%-го обогащения
- 5 — зона поглотителя
- 6 — тепловая зона
- 7 — графитовый отражатель
- 8 — органическое стекло
- 9 — слой Cd
- 10 — низкоуглеродистая сталь
- MC1-MC4 — измерительные каналы в графитовом отражателе
- EC1B-EC4B — экспериментальные каналы в быстрой зоне
- EC5T-EC7T — экспериментальные каналы в тепловой зоне

Поперечный разрез подкритической сборки «Ялина-Бустер»



- ионопровод
- ТВЭЛы Г-21 (595)
- стержни с $U_{мет.}$ (ест.), (108)
- стержни с B_4C (116)
- герметичные стальные трубки (100)
- EC1B-EC3B — экспериментальные каналы быстрой зоны
- EC1B — экспериментальные каналы быстрой зоны

Картограмма загрузки быстрой зоны

Текущие задачи

1. Проблема мониторинга уровня подкритичности в режиме реального времени.
2. Выбор спектра для выжигания минор-актинидов (МА) и продуктов деления (ПД).
3. Скорости реакций трансмутации образцов МА и ПД.
4. Восстановление нейтронного спектра по скоростям пороговых реакций.
5. Мониторинг выхода нейтронов из нейтронообразующей мишени.
6. Валидация расчетных кодов и библиотек оцененных ядерных данных, используемых для нейтронно-физических расчетов.

На базе стенда работала Международная научная лаборатория (2006–2013) с участием Королевского технологического института (Швеция), Ядерного центра Карлсруэ (Германия) и Центра технических и природных исследований (Испания). Активно проводилось сотрудничество в рамках заданий Координационного плана НИР с ОИЯИ (г. Дубна, Россия) с Лабораторией высоких энергий ОИЯИ.

В рамках Международной научной лаборатории ученые института участвовали в международном научно-техническом сотрудничестве при выполнении исследований в рамках следующих проектов: интегрированный проект ЕВРОТРАНС 7-й Рамочной программы ЕС; исследовательский контракт МАГАТЭ 13389; проекты МНТЦ В-070, В-1341 и В1732Р.

ПКС Ялина используется также для подготовки специалистов в области ядерной энергетики.

Результаты научных исследований опубликованы в ряде статей и препринтов.

Опыт, полученный при физическом пуске и проведении экспериментальных работ, показал, что одной из важнейших проблем подкритических систем, не имеющих выхода в критическое состояние, является проблема контроля реактивности в режиме реального времени, проблема снижения тока ускорителя. Другой не решенной до конца проблемой остается мониторинг выхода нейтронов из мишени, являющейся внешним источником нейтронов.

Оценки значений плотностей потоков тепловых и быстрых нейтронов $10^9 \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$, а также ряда динамических характеристик ядерной установки показывают не только возможность проведения исследований в области физики ADS, нейтронной физики, ядерной физики, но и решения широкого круга прикладных задач в интересах многих министерств и ведомств Республики Беларусь в следующих направлениях:

- радиационные испытания элементов электронной техники;
- нейтронно-активационный элементный анализ образцов в сельском хозяйстве, геологии, экологии, агрохимии, агробиологии;
- анализ почв на содержание микроэлементов, макроэлементов, ультрамикроэлементов и токсичных элементов;
- определение концентрации кислорода с точностью до 0,001% в монокристаллах, пленках, радиобиологии;
- производство β - и γ -источников для метрологических целей;
- подготовка научных кадров высшей квалификации.

Идея создания подкритической сборки, управляемой генератором нейтронов, возникла в 1993 г. при проведении широкого круга исследований по взаимодействию высокоэнергетических пучков заряженных частиц с протяженными мишенями из различных материалов (литий, бериллий, углерод, золото, железо, свинец, уран, торий). В период с 1993 по 1996 гг. проводились расчетные исследования и сравнения с имеющимися экспериментальными данными в этой области, разрабатывался дизайн стенда.

Идея создания подкритического стенда принадлежит генеральному директору АНТК «Сосны» (1993–2002) и руководителю лаборатории нейтронной физики (1993–2005) к. ф.-м. н. С. Е. Чигринову.

Главный разработчик конструкции стенда и начальник подкритического стенда (1998–2008) — И. Г. Серафимович.

Контакты



Киевская Анна Ивановна

Кандидат технических наук

Тел.: +37(517)391-14-46 (раб.), +37(529)674-94-65 (моб.).

E-mail: anna@sosny.bas-net.by; hannakiev@gmail.com