

КРИТИЧЕСКИЙ СТЕНД НАРЦИСС-М2

Ядерный критический стенд Нарцисс-М2 с малогабаритной критической сборкой предназначен для проведения экспериментов по исследованию нейтронно-физических характеристик ядерных реакторов космических ядерных энергетических установок (КЯЭУ) с термоэмиссионным преобразованием тепловой энергии в электрическую и является нейтронно-физическим прототипом реактора КЯЭУ «ТОПАЗ-2».

Физический пуск КС Нарцисс-М2 состоялся 28 августа 1983 г.

Реконструкции стенда не проводились.

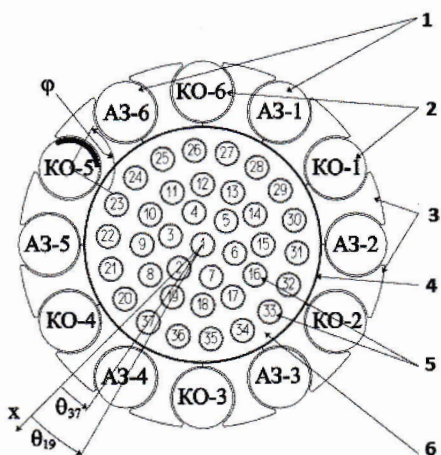


Внешний вид КС Нарцисс-М2

Критическая сборка представляет собой гетерогенную систему с твердым водородосодержащим замедлителем — гидридом циркония, и отражателями из металлического бериллия. В качестве топлива используется диоксид урана UO_2 , в форме таблеток обогащенным 96% по ^{235}U .

Критическая сборка состоит из блоков твердого водородсодержащего замедлителя, отражателя из металлического бериллия и 37 тепловыделяющих сердечников — имитаторов электрогенерирующих каналов (ЭГК).

Конструктивно замедлитель выполнен в виде 5 одинаковых по высоте блоков, покрытых снаружи специальным защитным покрытием, препятствующим выходу из блоков водорода при нагреве активной зоны при работе реактора на номинальной мощности. В блоках замедлителя имеется 37 сквозных каналов для размещения в них направляющих труб и имитаторов ЭГК с топливом. Верхний и нижний отражатели выполнены из металлического бериллия с такими же отверстиями, как и в блоках замедлителя. Радиальный отражатель из металлического бериллия, разрезной, состоит из 12 вкладышей. Между вкладышами находятся 12 регулирующих поворотных барабанов из бериллия диаметром 68 мм с поглощающими нейтроны сегментами.



Картограмма активной зоны и радиального отражателя с поворотными барабанами органов АЗ и регулирования КС Нарцисс-М2 (основной вариант): 1 — барабаны аварийной защиты; 2 — барабаны регулирующие; 3 — секции радиального отражателя; 4 — корпус сборки; 5 — макеты ЭГК с топливом; 6 — замедлитель

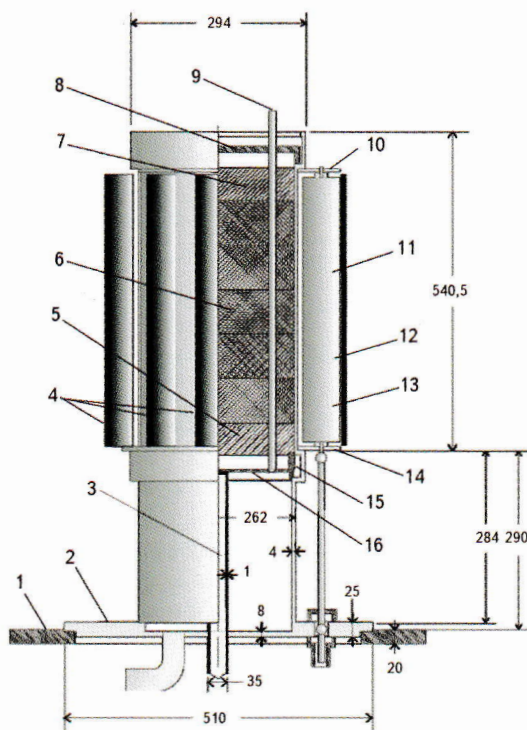


Схема КС Нарцисс-М2: 1 — опорная плита; 2 — стальная плита корпуса; 3 — труба источника нейтронов; 4 — поворотные барабаны; 5 — нижний торцевой отражатель; 6 — замедлитель; 7 — верхний торцевой отражатель; 8 — верхняя трубная доска; 9 — макеты ЭГК с топливом; 10 — верхнее монтажное кольцо; 11 — корпус сборки; 12 — кожуха барабанов; 13 — поворотный барабан; 14 — нижнее монтажное кольцо; 15 — дополнительное кольцо; 16 — нижняя трубная доска

В качестве топлива используется диоксид урана UO_2 , обогащением 96% по ^{235}U в форме таблеток. Таблетки из диоксида урана помещены внутри имитаторов одноэлементных или многоэлементных электрогенерирующих каналов (ЭГК), расположенных в трубах из монокристалла сплава молибден-ниобий, покрытых вольфрамом, внешним диаметром 20,5 мм и длиной 612 мм, помещенных в трубы из молибдена (имитаторы коллектора ЭГК), внешним диаметром 24,4 мм и длиной 546 мм. Макеты ЭГК помещены в направляющие трубы из нержавеющей стали. Диаметр направляющей трубы из стали — 26,1 мм, длина — 545 мм.

Высота топливного столба — (325–375) мм в зависимости от проводимого эксперимента.

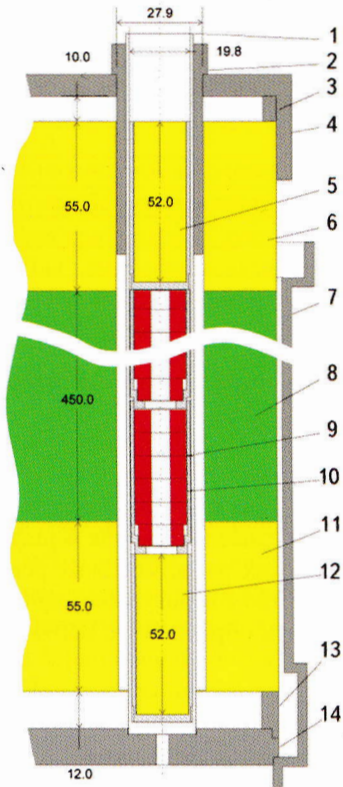


Схема одноэлементного ЭГК критической сборки Нарцисс-М2: 1 — труба коллектора; 2 — разрезная втулка; 3 — дистанционирующее кольцо; 4 — верхняя трубная доска; 5 — отражатель из BeO; 6 — верхний бериллиевый отражатель; 7 — верхняя часть корпуса; 8 — блоки замедлителя (6); 9 — секции имитатора эмиттера; 10 — топливо; 11 — нижний бериллиевый отражатель; 12 — отражатель из BeO; 13 — опорное кольцо; 14 — нижняя трубная доска

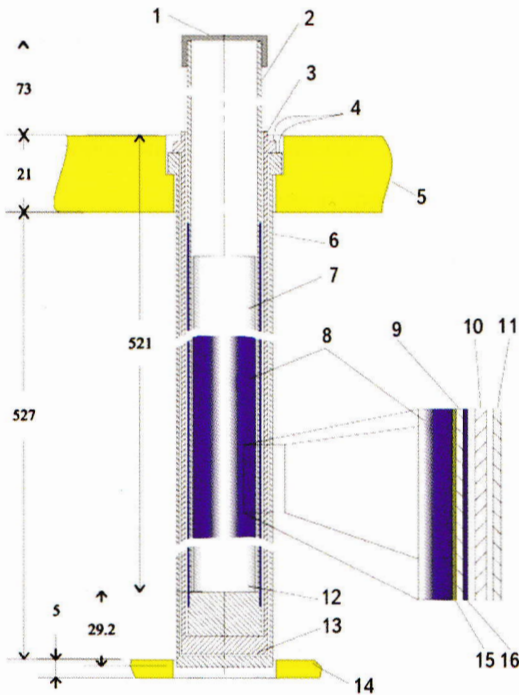


Схема многоэлементного ЭГК критической сборки Нарцисс-М2: 1 — колпачок; 2 — имитатор эмиттера; 3 — имитатор коллектора; 4 — буртики; 5 — верхняя трубная доска; 6 — направляющая труба; 7 — BeO; 8 — топливо; 9 — эмиттер; 10 — коллектор; 11 — направляющая труба; 12 — BeO; 13 — технологический зазор; 14 — нижняя трубная доска; 15 — алюминиевая фольга; 16 — покрытие

Основные технические характеристики КС Нарцисс-М2

Мощность установки (тепловая), Вт	10
Отражатель	металлический бериллий, вкладыши из окиси бериллия в твэлах
Замедлитель	гидрид циркония
Обогащение по ^{235}U , %	≈ 96
Число тепловыделяющих сборок (ТВС)	используются одиночные твэлы — 37 шт.
Число органов аварийной защиты (АЗ)	6
Число органов регулирования (РО)	6

Экспериментальные возможности

КС Нарцисс-М2 позволяет моделировать в различных вариантах малогабаритные активные зоны реакторов КЯЭУ с термоэмиссионным преобразованием энергии с имитированием как одноэлементных, так и многоэлементных преобразователей.

На критических сборках КС Нарцисс-М2 было проведено исследование нейтронно-физических характеристик и вопросов ядерной безопасности термоэмиссионного реактора-преобразователя «ТОПАЗ-2» (реактор на промежуточных нейтронах с высокообогащенным топливом, $\approx 96\%$ по ^{235}U). Экспериментальные данные были предназначены для верификации нейтронных кодов, используемых для нейтронно-физических расчетов таких реакторов. На стенде Нарцисс-М2 было исследовано большое количество конфигураций критических сборок с целью обоснования критической безопасности при обращении с КЯЭУ с реактором-преобразователем «ТОПАЗ-2».



Критичесборка Нарцисс-М2. Загрузка твэлов в каналы имитаторов ЭГК перед началом эксперимента

Методическое обеспечение для нейтронно-физических экспериментов

На КС Нарцисс-М2 для определения нейтронно-физических характеристик критических сборок, моделирующих высокотемпературные реакторы рассматриваемого типа, ши-

роко используются современные экспериментальные методы измерения критического состояния, эффектов реактивности, эффективности органов регулирования, подкритичности, пространственного распределения плотности нейтронного потока, энерговыделения и скоростей ядерных реакций, абсолютной мощности сборки, кинетических параметров реактора и т. д.

Критическое состояние определяется методом постепенной достройки активной зоны с контролем умножения нейтронного источника с хорошей точностью (погрешность определения критического состояния в реактивности не превышает величины $2,5 \cdot 10^{-5} \Delta K/K$).

Для измерения реактивности используется ряд методов, основанных на анализе динамического поведения нейтронной мощности при специальных возмущениях исследуемой системы. К их числу относятся:

- метод установившегося периода при положительном скачке реактивности;
- метод «стреляющего источника», при котором возмущением является быстрое удаление нейтронного источника из сборки;
- метод импульсного источника нейтронов;
- статистические методы, основанные на анализе цепочек делений при работе сборки на заданном уровне мощности;
- метод обратной кинетики, основанный на численном анализе временного поведения нейтронного потока в сборке.

Для измерения абсолютного значения нейтронной мощности и кинетических параметров сборки используются статистические методы.

Для измерения эффективности регуляторов используются все методы измерения реактивности, включая метод сброса стержня.

Для измерения распределения энерговыделения и скоростей реакций и измерения спектральных индексов, помимо штатной аппаратуры, используется метод активации детекторов с последующим анализом их радиоактивности на специализированных установках.

Для моделирования различных активных зон имеется в наличии набор уникального ассортимента ядерных материалов, замедлителей, поглощающих материалов, позволяющих моделировать различные реакторы, рассматриваемого типа и аварийные ситуации, связанные с вопросами ядерной безопасности.

Аппаратурное обеспечение КС Нарцисс-М2 для нейтронно-физических экспериментов

Реализация методов обеспечивается следующей специально разработанной экспериментальной аппаратурой, работающей совместно с персональными компьютерами (PC):

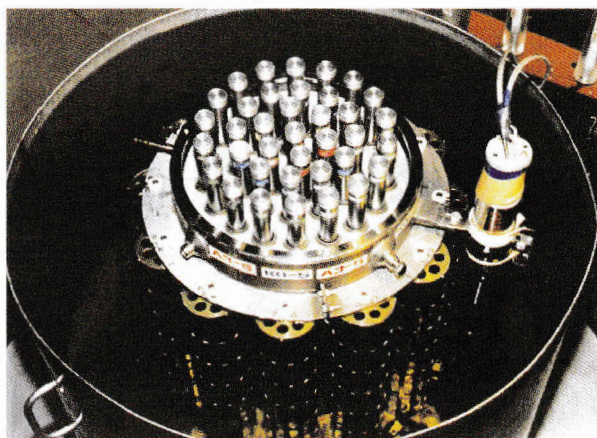
- многоканальной автоматизированной системой измерения токов ионизационных камер, обеспечивающей проведение динамических методов измерения реактивности;
- многоканальной системой импульсных трактов, которая работает при управлении от PC и предназначена для проведения статистических экспериментов;
- устройством временной селекции, представляющей собой систему с использованием PC, работающую с импульсными трактами. Устройство предназначено для проведения импульсных и статистических экспериментов;
- установкой ODIMOR, предназначенной для гамма-сканирования твэлов, автоматического обчета большого количества детекторов и обеспечивающей измерение распределения энерговыделения и скоростей реакций.

Все измерительные системы компьютеризированы, оснащены программным обеспечением обработки экспериментальных данных и хранения результатов в базе данных.

Наиболее значимые работы

На КС Нарцисс-М2 проводился и проводится широкий спектр экспериментальных работ, в том числе:

- исследование нейтронно-физических характеристик реакторов космического назначения, включая эффекты реактивности, эффективность регулирующих органов и баланс реактивности в нормальных и аварийных ситуациях;
- изучение характеристик ядерной безопасности высокотемпературных космических ЯЭУ, включая изучение случаев попадания топлива в воду, окружение реактора водой с попаданием воды внутрь активной зоны, окружение реактора мокрым песком и другие аварийные ситуации;
- изучение особенностей распределения мощности по элементам реактора, включая ее оптимизацию, и поиск методов и возможностей профилирования ядерных реакторов рассматриваемого типа;
- изучение возможности использования нейтронно-физических методов (метод критических исследований и измерения реактивности) для определения количества делящегося материала в образцах с высокой точностью в целях учета и контроля делящегося материала и его сохранности.



Критическая сборка Нарцисс-М2 в баке из нержавеющей стали. Подготовка к проведению эксперимента по окружению критесборки водой



Критическая сборка Нарцисс-М2, помещенная в мокрый песок

На стенде выполнен полный комплекс исследований нейтронно-физических характеристик при создании и отработке реактора с термоэмиссионным преобразованием энергии для космической ЯЭУ.

На стенде Нарцисс-М2 произведены высокоточные бенчмарк эксперименты, результаты которых опубликованы в международном сборнике.

Международное сотрудничество

Часть работ на КС Нарцисс-М2 проводилась совместно с американскими специалистами из национальных лабораторий: Los Alamos National Laboratory, Oak Ridge National Laboratory, Sandia National Laboratories, Idaho National Laboratory.

Персоны



Усов Вениамин Алексеевич

Тел.: +7(499)196-90-61, +7(499)196-71-64.

E-mail: Usov_VA@nrcki.ru



Глушков Евгений Серафимович

Главный научный сотрудник лаборатории нейтронно-физических исследований

Тел.: +7(499)196-98-21.

E-mail: Glushkov_ES@nrcki.ru



Компаниец Георгий Васильевич

Начальник лаборатории нейтронно-физических исследований

Тел.: +7(499)196-98-73.

E-mail: Kompaniezh_GV@nrcki.ru



Яницкий Гелиодор Константинович

Главный инженер комплекса «Р»

Тел.: +7(499)196-78-39.

E-mail: Yanizkiy_GK@nrcki.ru



Мороз Николай Петрович

Начальник критического стенда Аксамит

Тел.: +7(499)196-95-17.

E-mail: Moroz_NP@nrcki.ru

Контакты



Данелия Сергей Борисович

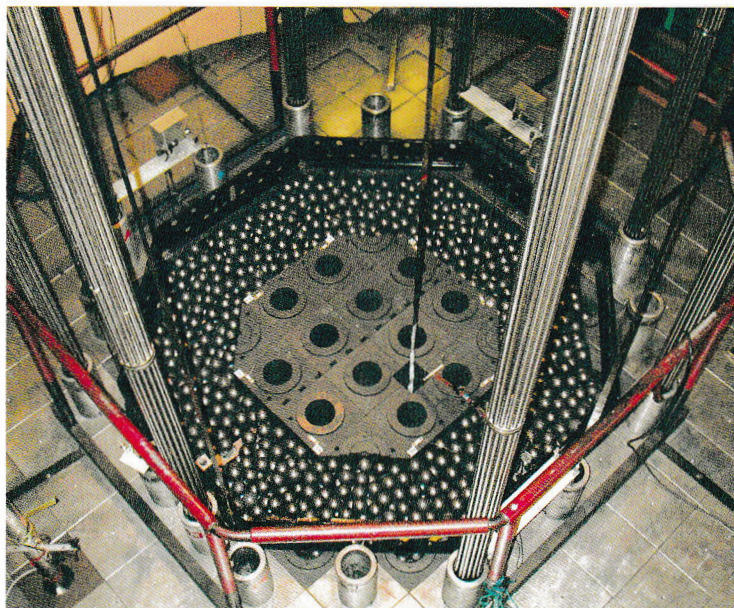
Инженер по управлению критическим стендом Нарцисс-М2

Тел.: +7(499)196-78-72.

E-mail: Daneliya_SB@nrcki.ru

КРИТИЧЕСКИЙ СТЕНД АСТРА

Ядерный критический стенд Астра (КС Астра) — прототип уран-графитового газоохладяемого реактора с шаровыми твэлами. КС Астра позволяет проводить исследования нейтронно-физических характеристик высокотемпературных газоохладяемых реакторов (ВТГР) в обоснование безопасности и внутренней самозащищенности.



Вид критической сборки КС Астра с кольцевой активной зоной