

Контакты



Мясников Сергей Вячеславович

Старший научный сотрудник, главный инженер исследовательского реактора Гидра

Тел.: +7(499)196-94-41.

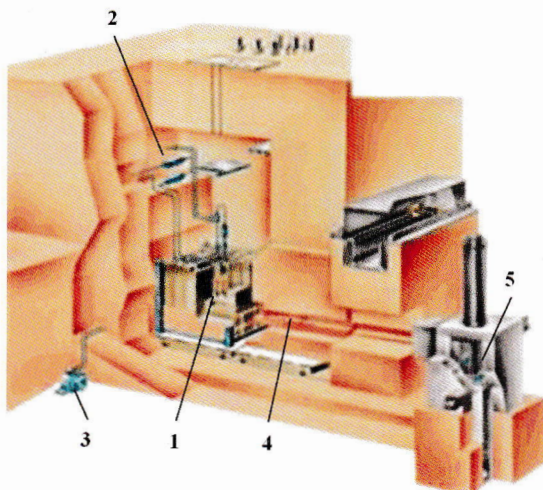
E-mail: Myasnikov_SV@nrcki.ru

ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ РЕАКТОР АРГУС

Растворный ядерный со стационарным потоком нейтронов реактор Аргус входит в состав комплекса растворных ядерных реакторов НИЦ «Курчатовский институт». Вторым компонентом комплекса является импульсный растворный реактор Гидра.

Исследовательский стационарный растворный ядерный реактор Аргус (ИЯР Аргус), уникальная установка, не имеющая аналогов в мире, введена в эксплуатацию в 1981 г.: физический пуск состоялся 2 ноября, энергетический пуск — 22 ноября. Назначенный срок эксплуатации реактора Аргус — 25 лет. В 2007 г. были проведены работы по продлению назначенного срока эксплуатации. На настоящее время назначенный срок эксплуатации реактора Аргус установлен до 2021 г.

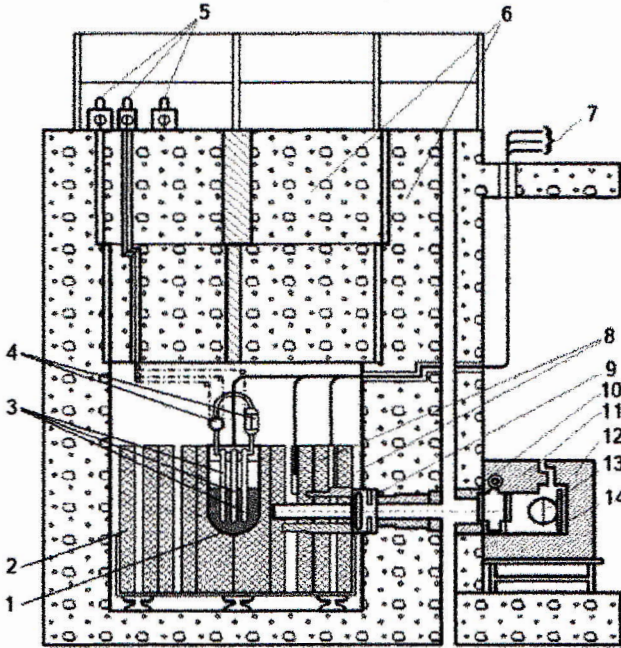
Реактор Аргус — растворный ядерный реактор гомогенного типа, использующийся для отработки инновационных технологий производства медицинских изотопов и для наработки и извлечения изотопов ^{99}Mo и ^{89}Sr . Также на установке проводятся нейтронно-активационный анализ и нейтронная радиография.



Общий вид реактора Аргус с экспериментальным оборудованием: 1 — активная зона; 2 — устройство откачки газов; 3 — насосы системы охлаждения; 4 — горизонтальный нейтронный канал; 5 — установка нейтронографии

Корпус реактора — сварной цилиндр с полусферическим дном — имеет внутренний диаметр 305 мм, толщину стенки 5 мм, длину цилиндрической части 500 мм. Вертикальные трубы (внутренний диаметр — 44 мм, толщина стенки — 2 мм) вварены в крышку корпуса реактора. Они образуют глухие каналы — один центральный и два периферийных, расположенных симметрично по окружности диаметром 150 мм. Каналы погружены в топливный раствор на максимальную глубину. Внутри корпуса реактора находится цилиндрический охлаждающий змеевик.

Корпус реактора окружен боковым и нижним торцевым графитовым отражателем толщиной не менее 450 мм. Установка представляет собой параллелепипед с основанием 1500×1500 мм и высотой 1200 мм. Наружные боковые поверхности отражателя покрыты слоем борированного полиэтилена толщиной не менее 50 мм.



Вертикальный разрез ИЯР Аргус:
 1 — корпус с экспериментальными каналами и змеевиком системы охлаждения активной зоны; 2 — графитовый отражатель; 3 — органы регулирования; 4 — система каталитической регенерации; 5 — приводы системы защиты и управления; 6 — биологическая защита; 7 — трассы пневмопочты; 8 — исследовательские каналы; 9 — формирователь пучка; 10 — коллиматор; 11 — шибер; 12 — камера для проведения нейтронно-радиографии образцов; 13 — исследуемый образец; 14 — детектор

Основную роль в обеспечении безопасности растворного реактора играют свойства саморегулирования, обусловленные физическими явлениями в топливном растворе — уменьшением плотности раствора за счет разогрева (температурный эффект) и образованием осколками деления радиолитического газа (пустотный эффект). Рабочая концентрация урана в растворе обеспечивает минимальную критическую массу и автоматический останов реактора при непредусмотренном увеличении или уменьшении концентрации урана.

Газообразные продукты радиолитического распада воды в растворе топлива подвергаются постоянной регенерации в специальном каталитическом реакторе, который представляет собой единую герметичную систему с корпусом реактора.

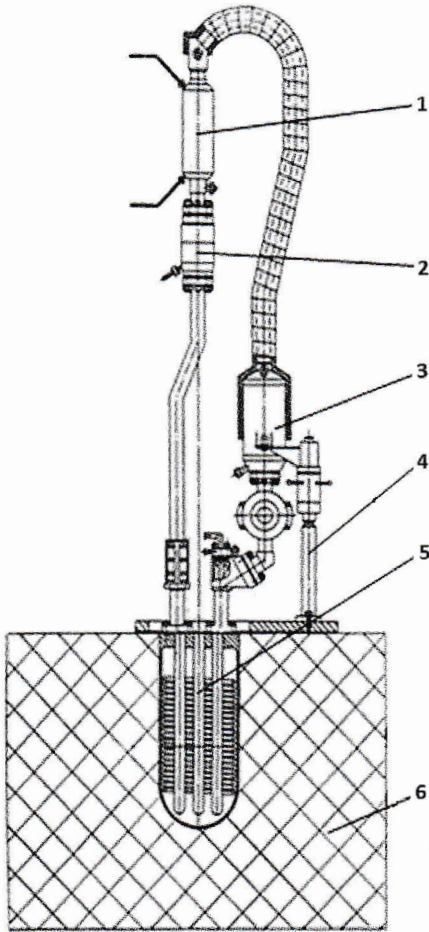
Ядерное топливо реактора Аргус

В качестве топлива используется водный раствор уранил-сульфата UO_2SO_4 .

С 1982 г. реактор Аргус эксплуатировался на высокообогащенном топливе. В 1998 г. на реакторе проведена модернизация системы СУЗ. С целью проведения исследований по наработке осколочного радионуклида ^{99}Mo из водного раствора уранил-сульфата реактора Аргус, в 2003–2007 гг. были модифицированы система каталитической рекомбинации воды, топлива и устройство откачки (хранения) газов, система вентиляции.

В 2013 г., в рамках программы ГК «Росатом» перевода гражданских исследовательских ядерных реакторов и мишеней для ^{99}Mo с ВОУ на НОУ, проводились расчетные исследования в обоснование конверсии реактора Аргус.

В 2014 г. был осуществлен перевод ВОУ-НОУ. В 2015 г. планируется провести референтную наработку ^{99}Mo на НОУ-топливе.



Общий вид реактора Аргус и рекомбинатора: 1 — теплообменник; 2 — конденсатосборник; 3 — H_2-O_2 рекомбинатор; 4 — опора рекомбинатора; 5 — корпус реактора с раствором UO_2SO_4 ; 6 — отражатель (графит)

Основные технические характеристики реактора Аргус

Мощность установки (тепловая), МВт	0,02
Теплоноситель	вода
Отражатель	графит
Замедлитель	вода
Давление, МПа	ниже атмосферного
Расход теплоносителя, $m^3/ч$:	
— первый контур	0,3
— второй контур	2
Скорость потока теплоносителя, м/с:	
— змеевик активной зоны (первый контур)	3
— транспортный участок второго контура	7
Температура теплоносителя, °С:	
— на входе	25
— на выходе	55
Обогащение по ^{235}U , %	19,8

Выгорание, %:	
— среднее	—
— максимальное	менее 1
Энергонапряженность активной зоны, кВт/л:	
— средняя	0,8
— максимальная	—
Поток нейтронов, см ⁻² ·с ⁻¹ :	
— тепловых	5·10 ¹¹
— быстрых	1·10 ¹¹
Число тепловыделяющих сборок (ТВС)	нет
Число органов аварийной защиты (АЗ)	2
Число органов регулирования (РО)	3
Число петель	2
Число экспериментальных каналов:	1 центральный канал в корпусе, 5 вертикальных каналов и 1 горизонтальный канал в отражателе

Активная зона реактора Аргус

Активная зона — цилиндрическая:

- эффективный диаметр (внутренний диаметр корпуса), см — 30,5;
- высота раствора, см — 45;
- рабочий объем, л — 26;
- количество урана активной зоне, кг — 9,9;
- обогащение топлива, % — 19,8;
- концентрация урана, г/л — 380.

Два стержня аварийной защиты (АЗ) выполнены в виде втулок из карбида бора в стальной оболочке. Труба из алюминиевого сплава вставляется во внутреннюю полость стержня АЗ, образуя канал диаметром 27 мм, в котором перемещается компенсирующий стержень (КО) из карбида бора (плотность — 1,3 г/см³) диаметром 24 мм. Такое сочетание стержней АЗ и КО устанавливается в периферийных каналах корпуса реактора. Регулирующий стержень (РР-АР) размещается в зазоре между корпусом реактора и отражателем.

Охлаждение активной зоны

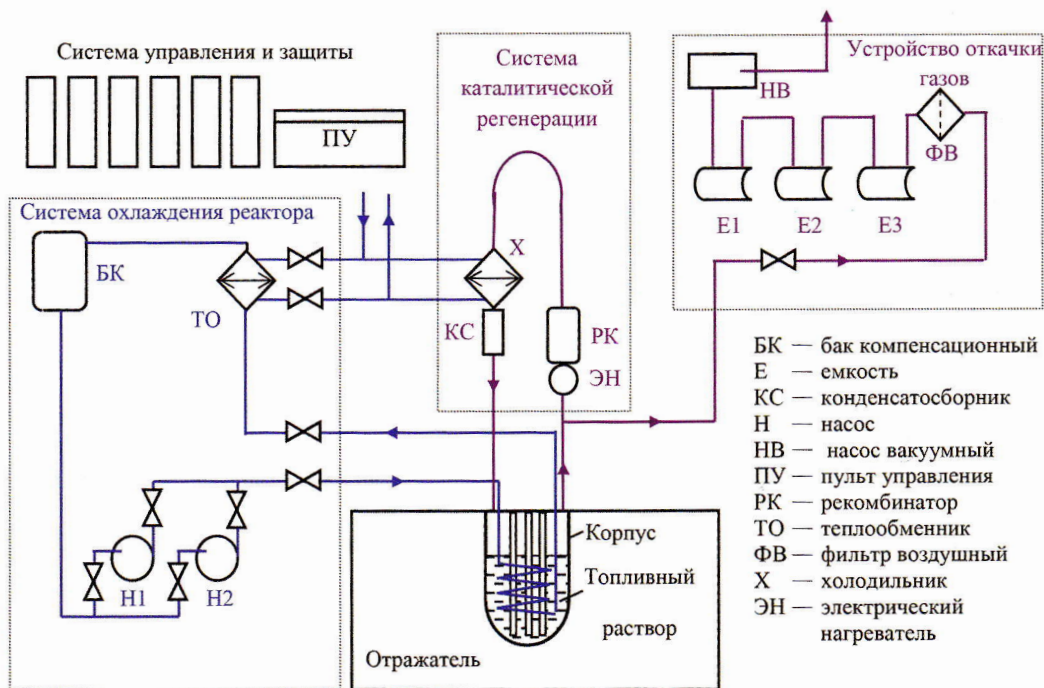
Охлаждение активной зоны осуществляется водой, проходящей по змеевику, погруженному в активную зону (1 контур). Тепло, снятое с активной зоны и системы каталитической регенерации, через теплообменник сбрасывается на воду второго контура.

Экспериментальные возможности реактора Аргус

Экспериментальные возможности реактора Аргус обеспечиваются комплексами наработки и извлечения радионуклидов.

Петля для наработки и извлечения ⁹⁹Mo

На базе реактора Аргус спроектирован и введен в эксплуатацию демонстрационный экспериментальный комплекс, включающий в себя: реакторную петлю, средства транспортировки и оборудование горячих камер для очистки ⁹⁹Mo от продуктов деления. При создании реакторной петли в систему каталитической рекомбинации продуктов радиолиза был установлен конденсатосборник объемом 1,2 л. Этот объем регенерированной воды используется для промыва петли и сорбционной колонки с целью возвращения остатков топлива в корпус реактора.



Технологическая схема реактора Аргус

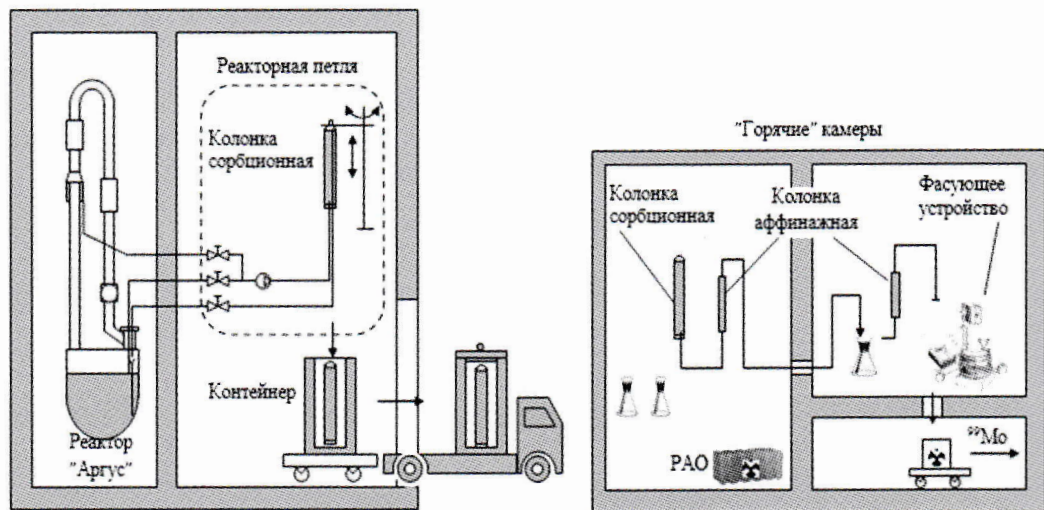


Схема экспериментального комплекса

В результате реакторных экспериментов впервые была продемонстрирована возможность извлечения ^{99}Mo из топлива растворного реактора, а также разработан следующий технологический процесс.

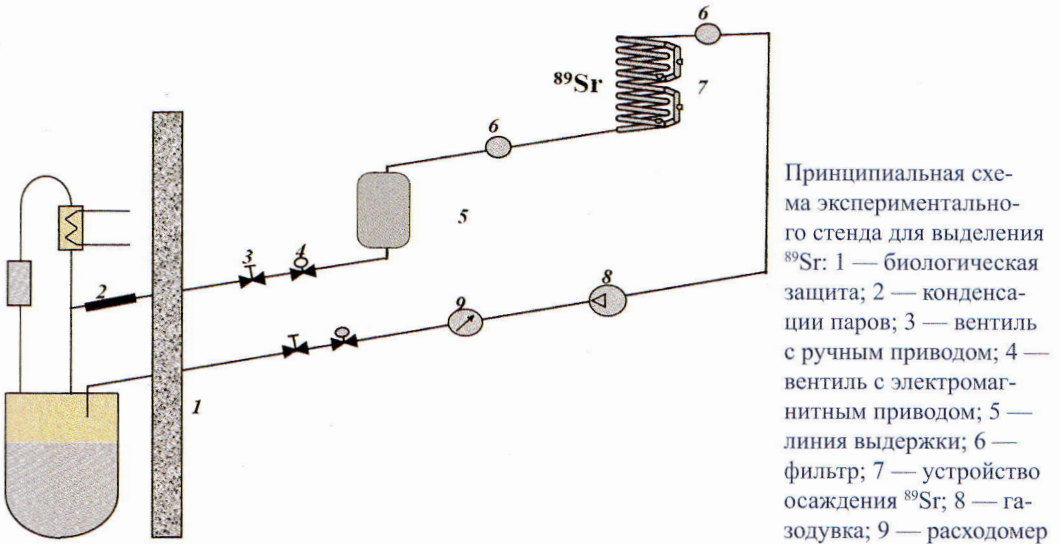
Реактор Аргус работает на мощности в течение времени до 5 суток. После некоторой выдержки топливный раствор прокачивается через сорбент в течение 3–6 часов. Для возвра-

шения остатков топливного раствора в корпус реактора реакторная петля вместе с сорбционной колонкой промывается конденсатом, накопленным в системе регенерации продуктов радиолитиза во время работы реактора на мощности. Затем колонка дистанционно устанавливается в транспортный контейнер и направляется в горячие камеры, где после промывки сорбента кислыми растворами радионуклид ^{99}Mo десорбируется щелочью. Для достижения требуемой радионуклидной чистоты проводятся две стадии очистки с помощью аффинажных колонок, заполненных тем же сорбентом типа «Термоксид».

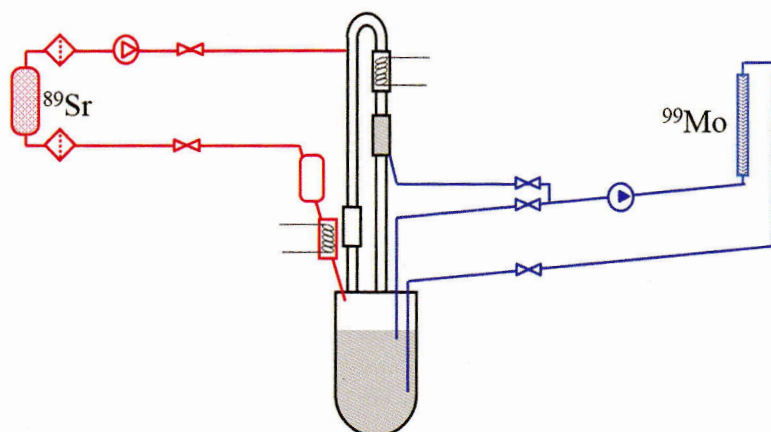
На созданном демонстрационном оборудовании проводятся реакторные эксперименты по получению образцов ^{99}Mo и отработке растворной технологии. Контроль качества образцов проводился как в Европе (Институт радиоактивных элементов, Бельгия), так и в США (Аргоннская национальная лаборатория), где было подтверждено, что содержание примесей в образце значительно ниже, чем установлено международными требованиями. Максимальная активность образцов составляла $\approx 3,7 \cdot 10^2$ ГБк.

Стенд для наработки и извлечения ^{89}Sr

Метод выделения осколочного радионуклида ^{89}Sr основан на эффекте выхода из топливного раствора его газообразного предшественника — радионуклида ^{89}Kr . Проведенные ранее экспериментальные исследования показывают, что в газовую фазу растворных реакторов выносятся практически все долгоживущие изотопы криптона и ксенона. Период полураспада газообразного предшественника (^{89}Kr) целевого радионуклида ^{89}Sr составляет 3,2 мин., а период полураспада газообразного предшественника (^{90}Kr) основного примесного радионуклида Sr^{90} существенно меньше и составляет 33 с. Используя это обстоятельство, в изолированном объеме газа после соответствующей выдержки можно достигнуть требуемого значения отношения активностей газообразных предшественников целевого и примесных радионуклидов стронция, а затем перекачать газовую смесь через фильтры в накопительную емкость, в которой после распада предшественников будет накапливаться ^{89}Sr .



Возможна схема компоновки технологических петель одновременной наработки и извлечения ^{99}Mo и ^{89}Sr на реакторе Аргус.



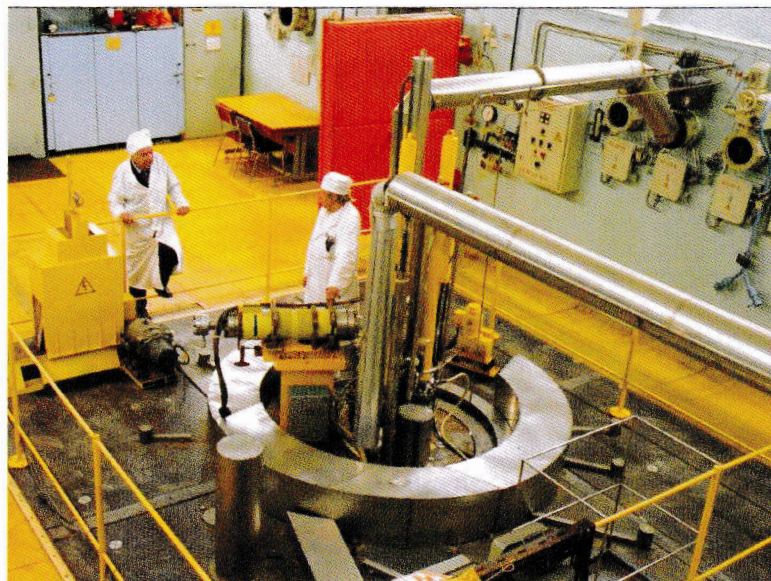
Компоновочная схема реактора Аргус с технологическими петлями

Международное сотрудничество

Основным направлением международного сотрудничества являются работы, проводимые между НИЦ «Курчатовский институт» и UChicago Argonne LLC (США), направленные на замену ранее использовавшегося на реакторе топлива с обогащением 90% по ^{235}U на топливо с обогащением 19,8%.

ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ РЕАКТОР ГАММА

Исследовательский реактор Гамма — корпусной водо-водяной реактор на тепловых нейтронах с естественной циркуляцией теплоносителя. Реактор Гамма был создан как установка для отработки методов прямого преобразования тепловой энергии в электрическую с использованием полупроводникового термоэлектрогенератора (проектная тепловая мощность 250 кВт, $T_{\text{тепл}} = 330\text{ }^\circ\text{C}$, $P=17,5\text{ МПа}$). Физический пуск реактора состоялся 30 декабря 1981 г., энергетический пуск — 1 марта 1982 г.



Реакторный зал ИР Гамма