

DOI: 10.53403/9785951505156\_2022\_207

## Тритиевая инфраструктура для установки лазерного термоядерного синтеза

**Р. К. Мусяев, В. В. Балуев, А. А. Кирдяшкин,  
О. А. Тивикова, А. В. Рыжухина, В. М. Першина,  
Е. В. Буряк, Ал. А. Юхимчук, И. П. Максимкин,  
А. В. Вертей, А. И. Гуркин, А. П. Пепеляев,  
А. Г. Голубинский, В. М. Изгородин, Е. Ю. Соломатина,  
С. П. Баринов, И. А. Чугров, А. В. Курякин,  
О. П. Вихлянцев, А. Д. Тумкин, Н. Е. Гурин,  
С. В. Фильчагин**

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров

arkad@triton.vniief.ru

*В РФЯЦ-ВНИИЭФ разработана тритиевая инфраструктура для «Фабрики мишеней» установки лазерного термоядерного синтеза. Она включает исследовательский комплекс для отработки технологии заполнения микромишеней дейтерий-тритиевым топливом и системы тритиевой очистки, сбора и утилизации (ТОСУ). Система ТОСУ-1, входящая в состав комплекса «Фабрика мишеней», предназначена для безопасного функционирования, обслуживания и постоянного снабжения газообразной смесью изотопов водорода, включая тритий, специализированных стендов для насыщения термоядерных мишеней, проведения радиометрического контроля и утилизации радиоактивных отходов. Система ТОСУ-2, входящая в состав инфраструктуры установки лазерного термоядерного синтеза, должна обеспечивать эффективную очистку от трития газовой среды газовакуумных коммуникаций и камеры взаимодействия.*

*В «Фабрике мишеней» обеспечивается функционирование двух стендов (систем наполнения): системы наполнения стеклянных микрооболочек смесью изотопов водорода методом диффузии с рабочими давлениями до 100 атм и температурой до 300 °С и системы наполнения полимерных оболочек методом низкотемпературной перегонки водородной смеси через капилляр. Каждая из систем ТОСУ включает блоки газоочистки, работающие на принципе конверсии изотопов водорода на катализаторах в воду*

*с дальнейшим поглощением паров воды на молекулярных ситах (адсорберах на основе цеолита). Составные части тритиевой инфраструктуры располагаются в специальных помещениях, предназначенных для работы с тритием по II классу работ с открытыми источниками излучений.*

## Введение

В рамках научно-исследовательских и экспериментальных работ по управляемому термоядерному синтезу с инерциальным удержанием плазмы в РФЯЦ-ВНИИЭФ создается импульсная многоканальная лазерная установка (ИМЛУ) нового поколения, в камере взаимодействия которой планируется применение различных микромишеней с оболочками, заполненными тяжелыми изотопами водорода. Для обеспечения безопасной эксплуатации ИМЛУ была создана специализированная инфраструктура, которая позволяет на текущий момент работать с тритием в количестве до 270 Ки.

Тритиевая инфраструктура включает комплекс «Фабрика мишеней» для отработки технологии наполнения микромишеней топливом в виде дейтерий-тритиевой смеси различными методами и две системы тритиевой очистки, сбора и утилизации (ТОСУ), которые входят как в состав комплекса, так и непосредственно в инфраструктуру ИМЛУ.

Система ТОСУ-1, входящая непосредственно в состав комплекса «Фабрика мишеней», предназначена для безопасного функционирования, обслуживания и постоянного снабжения газообразной смесью изотопов водорода, включая тритий, специализированных стендов для насыщения (наполнения оболочек) термоядерных мишеней и мишенных сборок, используемых для экспериментов на ИМЛУ, а также для проведения радиометрического контроля и утилизации радиоактивных отходов.

Система ТОСУ-2, входящая в инфраструктуру ИМЛУ, должна будет обеспечивать эффективную очистку от трития газовой среды боксов для монтажа мишеней, накопительных ресиверов, газовакуумных коммуникаций и камеры взаимодействия (при условии повышенного фона объемной активности трития).

## Система ТОСУ-1

Система ТОСУ-1 как инфраструктурная часть «Фабрики мишеней» обеспечивает прежде всего безопасность выполнения процедур наполнения микромишеней смесью из изотопов водорода на двух специализированных стендах (системах наполнения). На рис. 1 показана структурная схема системы ТОСУ-1. В эту систему, как видно из схемы, входят перчаточные боксы, в двух из которых установлены системы наполнения оболочек мишеней:

НСОМД – наполнение стеклянных оболочек методом диффузии; НОМНТП – наполнение оболочек методом низкотемпературной перегонки.

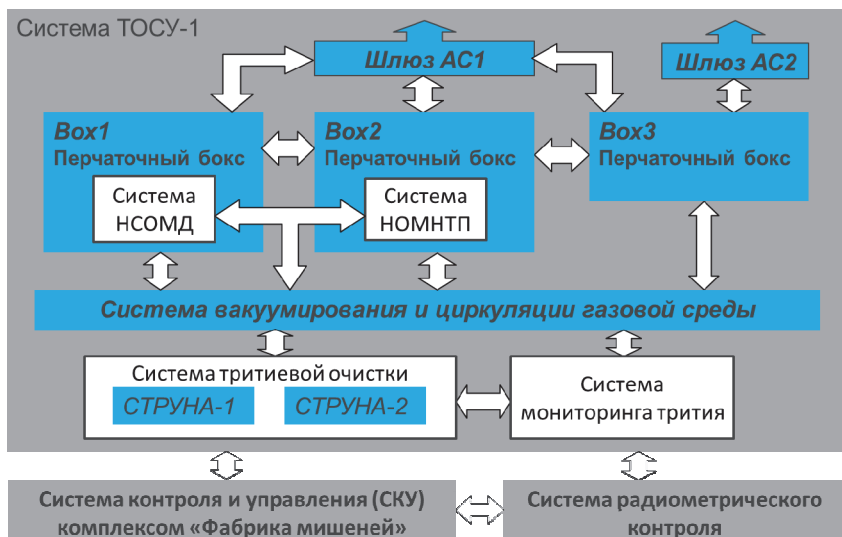


Рис. 1. Структурная схема системы ТОСУ-1

С помощью разветвленной системы вакуумирования и циркуляции газовой среды, включающей, кроме коммуникаций, два ресивера и вакуумные посты, ТОСУ-1 позволяет проводить очистку газовой среды от влаги и трития через блоки тритиевой очистки СТРУНА-1 и СТРУНА-2, действующие по принципу молекулярных сит. На выходе из блоков газоочистки и во внутренних циркуляционных контурах боксов проводится (с помощью замкнутой байпасной «петли» в коммуникациях) контроль объемной активности (ОА) трития в газовой среде.

Система ТОСУ-1 размещена в смежных комнатах и разделена фактически на две части: систему сбора и аттестации, в которую входят боксы со шлюзами, и систему очистки комплекса с блоками газоочистки. Внешний вид системы сбора и аттестации на базе перчаточных боксов со шлюзами, изготовленных на фирме «MBraun» (Германия), показан на рис. 2, а вид системы очистки комплекса с двумя накопительными ресиверами и двумя блоками газоочистки – на рис. 3. Изготовление системы сбора и аттестации, а также ее приемосдаточные испытания проводилось на производственной площадке фирмы «MBraun» в 2013–2014 гг.

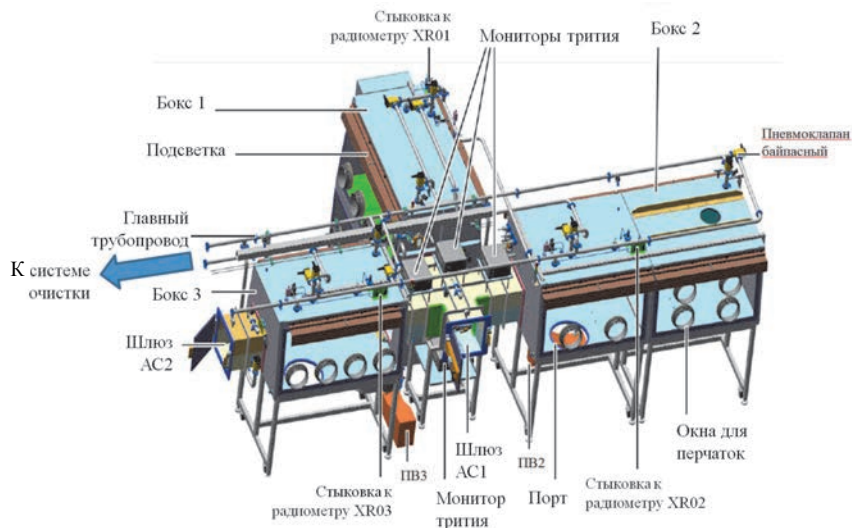


Рис. 2. Вид ТОСУ-1 (система сбора и аттестации)

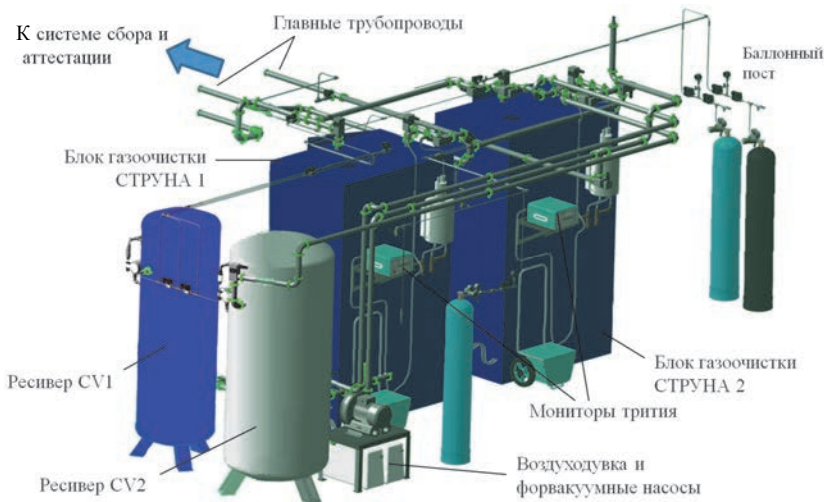


Рис. 3. Вид ТОСУ-1 (система очистки комплекса «Фабрика мишеней»)

Система сбора и аттестации включает в себя три перчаточных бокса (Box1, Box2 и Box3) и два шлюза (крестообразный и межкомнатный, см. рис. 2). Перчаточный бокс Box1 предназначен для размещения и функционирования внутри него стенда системы НСОМД и обеспечивает дополнительный рубеж защиты при работе с тритийсодержащими смесями. Перчаточный бокс Box2 предназначен для размещения и функционирования внутри него стенда системы НОМНТП с портами ввода криоголовки и переносного контейнера и обеспечивает дополнительный рубеж защиты при работе с тритийсодержащими смесями. Перчаточный бокс Box3 предназначен для монтажа/демонтажа сборок с мишенями и утилизации твердых тритийсодержащих отходов в контейнер через порт ввода или шлюзы. Крестообразный шлюз AC1, соединяю-

щий все перчаточные боксы, и межкомнатный шлюз АС2, соединенный с боксом Вох3 и выходящий в помещение с системой очистки комплекса, позволяют вводить/извлекать, перемещать между боксами различные элементы мишенных сборок и необходимые материалы в/из объем(а) боксов для функционирования стендов систем наполнения мишеней.

Основными элементами системы очистки комплекса «Фабрика мишеней» являются накопительные ресиверы CV1 (объемом 0,5 м<sup>3</sup>) и CV2 (объемом 1 м<sup>3</sup>) и два блока газоочистки: СТРУНА-1 – для очистки боксов, СТРУНА-2 – для очистки ресивера CV2 и, при необходимости, дублирования очистки боксов.

Контроль над режимами работы системы ТОСУ-1, управление работой всех датчиков и автоматизированных клапанов осуществляет система контроля и управления (СКУ) комплексом «Фабрика мишеней» (см. раздел 1.3), сопряженная с системой радиометрического контроля (включая дозиметрический контроль помещения), которая базируется на мониторах трития с радиометрами на основе ионизационных камер (ИК) [1]. Система ТОСУ-1 оснащена семью мониторами трития: по одному в коммуникациях внутренней циркуляции каждого перчаточного бокса, по одному на выходе из блоков газоочистки в главных трубопроводах и на выхлопах насосов двух вакуумных постов.

Порядок очистки газовой среды перчаточного бокса состоит из следующих этапов:

1) в штатном режиме при работе с тритийсодержащими изделиями в изолированном боксе непрерывно проводится внутренняя циркуляция газовой среды (азота), а также измерение влажности и ОА трития в газовом потоке с помощью радиометров;

2) при возникновении утечки трития появляется сигнал от ИК, который посредством СКУ соединяет бокс через главные трубопроводы с блоком газоочистки, образуя замкнутый контур очистки;

3) циркулирующий по замкнутому контуру газ проходит в блоке газоочистки через конвертер с реагентом (или катализатором) и адсорбер на основе цеолита и очищается от влаги и трития до тех пор, пока ОА среды в боксе и на выходе из газоочистки не снизится до требуемого безопасного уровня;

4) после очистки газовой среды система с помощью СКУ автоматически переключается на штатный режим с внутренней циркуляцией среды в боксе.

Разработанная для комплекса «Фабрика мишеней» инфраструктура ТОСУ-1 обеспечивает следующие режимы и функции газообеспечения и тритиевой очистки:

1) режим циркуляции потока газовой среды из бокса через газоочистку;

2) циркуляцию газа через газоочистку в байпасном режиме, который используется при запуске установки или в случае, когда очистка среды боксов не требуется;

3) режим продувки бокса чистым газом, которая производится при начальном запуске боксов в эксплуатацию, после их ремонта или с целью осушки;

4) режим циркуляции газа из ресивера через газоочистку, который проводится при последовательном заполнении ресиверов в ходе очистки боксов и при сбросе остатков газовой смеси из экспериментальных стендов наполнения;

5) функционирование шлюзов и портов для переносных контейнеров. В данном процессе используются блокировки при открытии/закрытии люков шлюзов и портов для переносных контейнеров, откачка их объемов и заполнение шлюзов средой бокса;

6) циркуляцию газа из шлюза и переносных контейнеров через газоочистку. Используется при введении использованных мишенных сборок через шлюз или порт контейнера во внутренний объем боксов.

Давление газовой среды в боксах и основных коммуникациях ТОСУ-1 (главные трубопроводы) во всех режимах работы всегда автоматически поддерживается немного ниже атмосферного ( $-200 \dots -600$  Па). Это делается для того, чтобы исключить выход трития в лабораторное помещение. При этом сброс газа из боксов и коммуникаций происходит в ресивер CV1, после заполнения которого газ перекачивается в ресивер CV2 большего объема для последующей его очистки через блок СТРУНА-2.

Система ТОСУ-1 при работе с тритием обеспечивает три рубежа защиты при штатной эксплуатации стендов наполнения мишеней: два рубежа обеспечиваются конструкцией функциональных элементов стендов наполнения, а третий рубеж – это объем перчаточных боксов, соединяемый с блоками газоочистки в случае аварийной ситуации (выход трития в объем бокса с ОА, превышающей допустимый уровень).

### ***Система очистки газовой среды***

Одним из основных элементов системы ТОСУ-1 является блок газоочистки, газовакуумная схема которого представлена на рис. 4. Блок газоочистки типа СТРУНА предназначен для поддержания следующих параметров газовой среды в перчаточных боксах и ресиверах: ОА по тритию в газовой среде – не более  $5 \cdot 10^5$  Бк/м<sup>3</sup>, по водяному пару – не более 10 ppm.

Газовая среда с входа газоочистки, пройдя через каталитический конвертер, где происходит окисление трития до формы НТО на реагенте CuO при температуре 250–300 °С, выходит нагретой; затем поток газа охлаждается в теплообменнике и поступает на адсорберы (молекулярное сито), где происходит поглощение влаги цеолитом. После этого очищенная от трития газовая среда прокачивается воздуходувкой и дополнительно охлаждается вторым конденсатором (теплообменником).

Конструкция газоочистки позволяет запустить в работу сразу две типовые линии очистки с молекулярным ситом в каждой. Эти линии очистки могут быть соединены последовательно или параллельно. Вторая (резервная) линия очистки обычно используется в том случае, если эффективность первой линии недостаточна из-за заполнения адсорбера влагой и НТО. Кроме того, вторая линия может использоваться в качестве основной, если первая линия выведена из эксплуатации для проведения ее технического обслуживания.

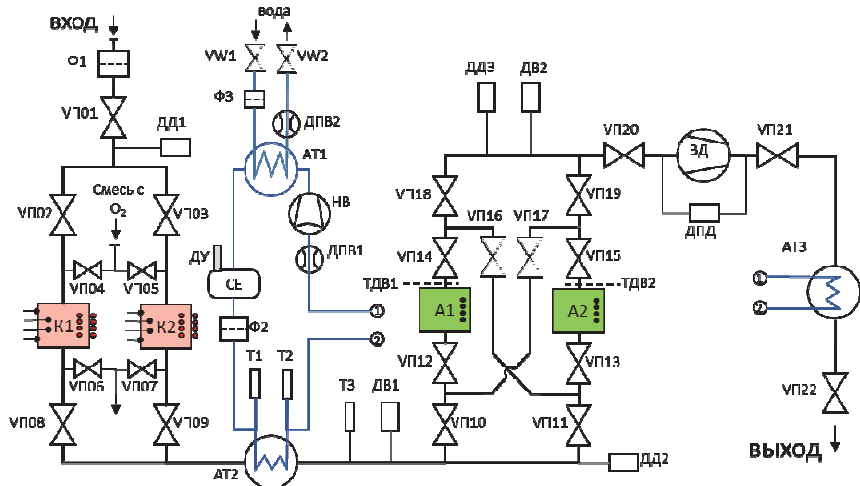


Рис. 4. Принципиальная газовакуумная схема блока газоочистки СТРУНА: ВП01–ВП22 – ручной вентиль; VW1–VW2 – вентиль для воды; АТ1 – водно-водяной теплообменник; АТ2–АТ3 – газовойодяной теплообменник; А1–А2 – адсорбер с цеолитом; ВД – воздуходувка; ДВ1–ДВ2 – датчик влажности газа; ДД1–ДД3 – датчик давления; ДПД – дифференциальный датчик давления; ДПВ1–ДПВ2 – датчик потока воды; ДУ – датчик уровня воды; К1–К2 – конвертер с нагревателем; НВ – насос водяной; СЕ – резервуар; Т1–Т3 – температурные датчики; ТДВ1–ТДВ2 – тензодатчики веса; Ф1 – газовый фильтр; Ф2–Ф3 – водяной фильтр грубой очистки

При обеспечении стационарной концентрации трития в газовой среде на выходе из газоочистки не более  $4,4 \cdot 10^5$  Бк/м<sup>3</sup> (допустимый уровень ОА для лабораторных помещений) и влажности среды ~1 ppm один адсорбер с массой фильтрующего цеолита 15 кг может поглотить до 36 Ки трития в виде НТО. В случае аварийной ситуации при повышенной влажности среды можно использовать двустадийный режим очистки с переключением линий очистки. В ходе первой стадии адсорбер поглотит практически весь тритий (в виде НТО) при повышенном уровне ОА трития в газовой среде (например, при ОА до  $4,4 \cdot 10^7$  Бк/м<sup>3</sup> и влажности 10 ppm на адсорбер можно посадить до 800 Ки трития). Во второй стадии при переходе на вторую линию очистки уровень ОА в газовой среде быстро упадет до уровня фона. В дальнейшем заполненный адсорбер (либо по массе влаги в цеолите, либо по предельному уровню ОА трития) запечатывается и перевозится на переработку или утилизируется как контейнер с твердыми радиоактивными отходами.

Реальные испытания данного блока газоочистки в составе инфраструктуры «Фабрики мишеней» на смеси с тритием из ресивера вместимостью 1 м<sup>3</sup> показали уменьшение ОА среды с 5·10<sup>8</sup> Бк/м<sup>3</sup> до 1·10<sup>6</sup> Бк/м<sup>3</sup> за один час работы. Последующая продолжительная работа газоочистки в течение 2 часов снижает ОА рабочей газовой смеси до уровня менее 4·10<sup>5</sup> Бк/м<sup>3</sup>.



## Системы наполнения мишеней

В первых двух боксах ТОСУ-1 располагаются стенды по наполнению оболочек мишеней. На рис. 5,а представлена газовакуумная схема системы наполнения стеклянных оболочек методом диффузии (система НСОМД).

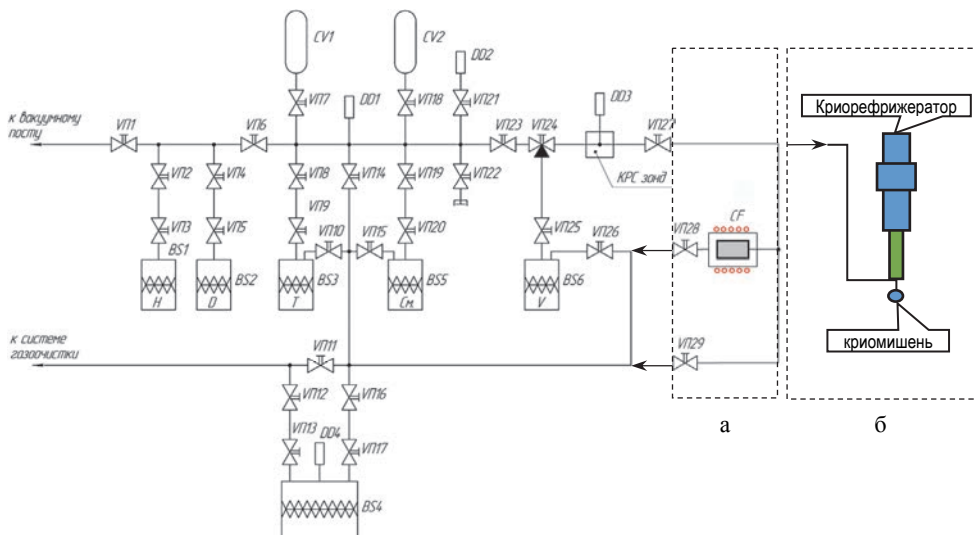


Рис. 5. Принципиальная газовакуумная схема систем НСОМД (а) и НОМНТП (б): BS1–BS6 – металлогидридные генераторы и ловушки изотопов водорода; VP1–VP29 – ручные вентили; CV1–CV2 – калиброванные емкости; DD1–DD4 – датчики давления; CF – камера заполнения с нагревателем

Основными элементами стенда, кроме камеры заполнения CF, являются: генераторы изотопов водорода BS1–BS3, генератор газовой смеси BS5 для получения необходимой смеси изотопов водорода, генератор высокого давления BS6 на основе ванадия, который «заправляется» от генератора газовой смеси, ловушка изотопов водорода BS4 на базе интерметаллида для поглощения остатков смеси изотопов водорода.

Процесс наполнения стеклянных мишеней смесью изотопов водорода происходит в специализированной камере заполнения CF, конструкция которой показана на рис. 6. Образцы стеклянных оболочек мишеней устанавливаются в кассету 8, которая крепится на винтах 6 и 7 к крышке 2. Крышка вместе с кассетой помещается внутрь кожуха камеры 1 и герметично уплотняется гайкой 5 через медную прокладку 4. На корпус камеры устанавливается нагреватель 9, газовая смесь изотопов водорода подается через штуцер 10. С целью безопасной работы корпус камеры оснащен дополнительной герметичной оболочкой (рубежом защиты), а зазор между стенками, в который выходит продиффундировавший через первую стенку водород (третий), откачивается на интерметаллидную ловушку через трубопровод 11.



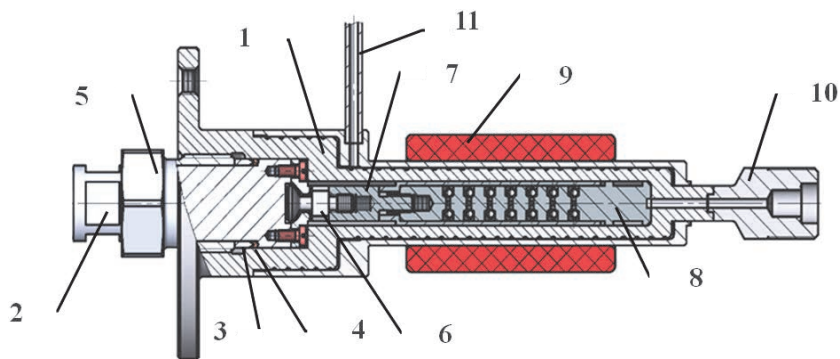


Рис. 6. Конструкция камеры заполнения системы НСОМД: 1 – кожух камеры в сборе; 2 – крышка; 3 – кольцо упорное; 4 – прокладка; 5 – гайка; 6, 7 – винт; 8 – кассета в сборе; 9 – нагреватель; 10 – штуцер для подачи газа; 11 – трубопровод для откачки продифундировавшего газа

Испытания камеры заполнения показали, что температура разогрева камеры может достигать  $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ , при этом давление газа может варьироваться до 100 атм. Типичное время непрерывной экспозиции мишеней под заданными давлением и температурой для наполнения внутренних полостей стеклянных сфер обычно составляет от 2 до 4 недель.

Вторым стендом, установленным в боксах ТОСУ-1, является система наполнения оболочек методом низкотемпературной перегонки (система НОМНТП, см. рис. 5,б), которая по конструкции аналогична системе первого стенда, но заполнение полимерных оболочек мишеней происходит под небольшим давлением при криогенных температурах.

Оболочка мишени крепится к капилляру и охлаждается определенным способом с помощью криорефрижератора до температур, при которых на внутренней стенке оболочки мишени при поступлении газовой смеси через капилляр появляется слой «льда» из изотопов водорода с монокристаллической структурой. Криорефрижератор стенда устанавливается во второй бокс системы ТОСУ-1, как показано на рис. 7, сверху через специальный фланец. На криоголовку закрепляется медный хладопровод, к которому прикрепляется сменная часть с переходниками для капилляров, термодатчиков, нагревателем и аблятором с расположенной внутри него криогенной мишенью [2].

Сборки мишеней после проверки и аттестации на стендах систем наполнений мишеней загружаются в переносной контейнер через порт на дне второго бокса и переносятся из «Фабрики мишеней» на площадку системы ТОСУ-2 лазерной установки.

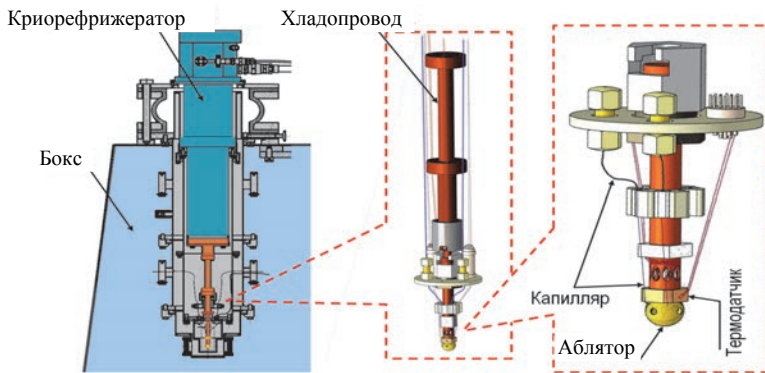


Рис. 7. Место установки и вид сборки с криогенной мишенью

При нормальных условиях эксплуатации стенов наполнения мишеней источниками поступления трития в объем перчаточных боксов могут являться:

- остаточный газ из коммуникаций стенов систем НСОМД или НОМНТП при их вскрытии в ходе монтажа/демонтажа (для снижения выхода трития в бокс предусмотрена возможность промывки коммуникаций систем водородом (протием) перед вскрытием);
- десорбция трития с внутренних стенок коммуникаций стенов НСОМД или НОМНТП при их вскрытии в ходе монтажа/демонтажа;
- диффузия трития через корпус урановых и ванадиевых источников трития и камеры заполнения CF (в системе НСОМД) при их нагреве (источники и камера оснащены дополнительной металлической оболочкой (второй рубеж защиты), откачиваемой в ходе нагрева источника).

### **Автоматизация системы ТОСУ-1 и СТРУНА**

Контроль работы всех датчиков, управление функциональными элементами комплекса, а также контроль над автоматическими режимами работы системы ТОСУ-1 осуществляет СКУ комплексом «Фабрика мишеней». Автоматизированная система построена на основе модулей аналогового и дискретного ввода/вывода серии I-7000. Использование данных модулей позволяет строить распределенную систему по стандарту RS-485, объединяя расположенные на удаленном расстоянии функциональные узлы (насосы, клапаны, измерительные датчики и пр.).

Для управления СКУ создано рабочее программное обеспечение (РПО). Разработка РПО проведена с использованием инструментального программного пакета CRW-DAQ [3, 4], предназначенного для автоматизации экспериментальных установок и физических измерений. Разработанное РПО является сложной многопоточной системой, в терминологии пакета CRW-DAQ – «Daq-системой», работает в среде пакета CRW-DAQ и включает в себя несколько десятков файлов описания конфигураций и программ управления.

Структурно Daq-система разделена на подсистемы, каждая из которых отвечает за определенные задачи (рис. 8) и работает параллельно в отдельном потоке и изолированно в адресном пространстве, а взаимодействие между ни-

ми происходит через базу данных реального времени и обмен сообщениями. Иерархическая распределенная структура управления обеспечивает надежность и отказоустойчивость работы системы.

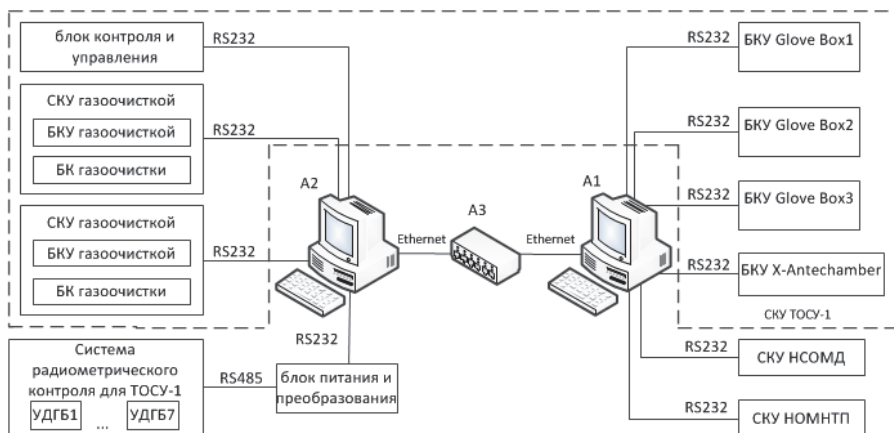


Рис. 8. Структура СУ «Фабрика мишеней»: A1 – сервер производительный промышленный; A2 – компьютер встраиваемый; A3 – коммутатор сетевой; Ethernet – стандарт сетевого обмена данными; RS232, RS485 – стандарт обмена данными через последовательный порт; БК – блок контроля; БКУ – блок контроля и управления; СКУ – система контроля и управления; УДГБ – радиометр

ППО разработано в виде распределенной сетевой системы на основе протокола DIM [5, 6]. DIM (Distributed Information Management System) – это коммуникационная программная технология для создания систем управления в неоднородных (смешанных) средах, работающих на разных аппаратных и программных платформах. Таким образом, обеспечена возможность контроля и управления установкой с удаленного рабочего места (компьютера). Использование данной технологии позволяет разнести компьютер с основной системой, подключенной к аппаратуре (сервер), и пульт управления оператора (клиент) на разные компьютеры, расположенные в разных помещениях, а также запускать большое число клиентов с разными правами доступа к СКУ.

Графический интерфейс для управления системой реализован в виде активных мнемосхем. Основная мнемосхема на рис. 9 соответствует газовой схеме установки и содержит элементы для отображения состояния узлов системы и управления ими. В отдельные графические окна (рис. 10), доступ к которым возможен с главной мнемосхемы, вынесены кнопки включения алгоритмов автоматического управления системой, а также кнопки включения и контроля аварийных блокировок и системы уведомлений для предупреждения оператора при срабатывании блокировок.

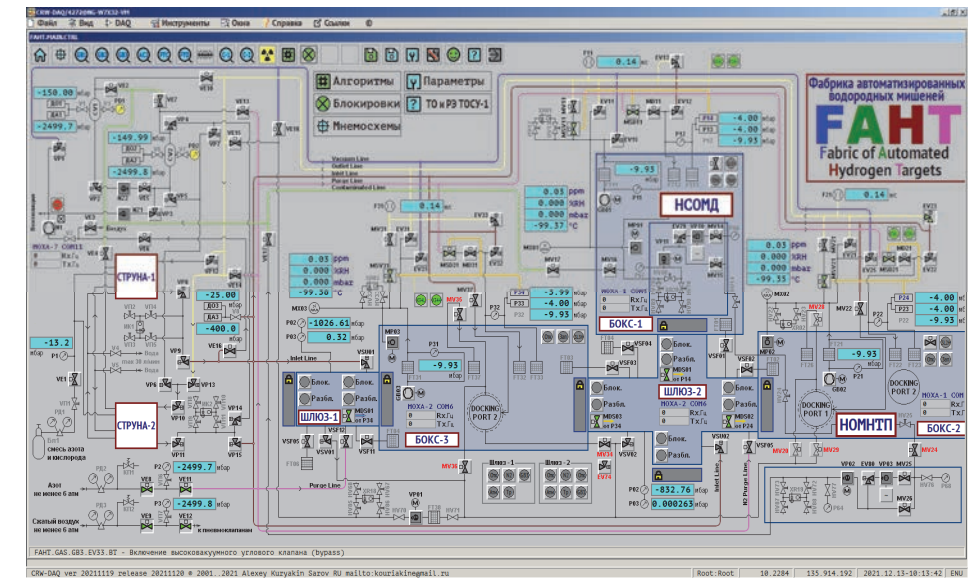


Рис. 9. Основной графический интерфейс системы управления

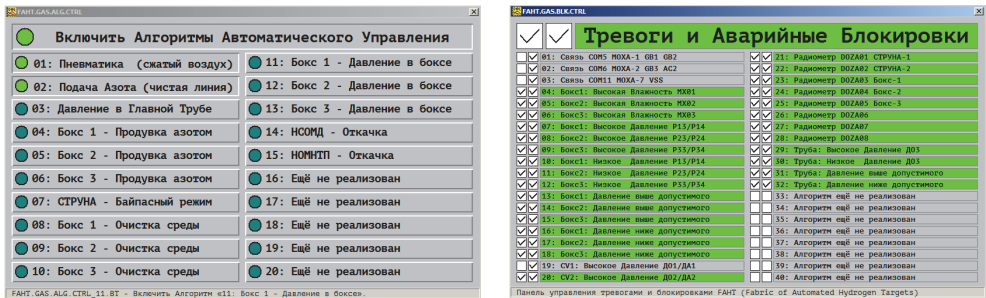


Рис. 10. Окна включения алгоритмов автоматического управления (слева), контроля и включения аварийных блокировок (справа)

## Система ТОСУ-2

Тритиевая инфраструктура ТОСУ-2, подобная инфраструктуре «Фабрики мишеней», разработана непосредственно для безопасной работы с материалами, содержащими тритий, на рабочих площадках ИМЛУ. На рис. 11 показана структурная схема системы ТОСУ-2, которая состоит из системы тритиевой очистки с мониторингом трития, системы вакуумирования, сбора и циркуляции газовой среды и двух перчаточных боксов. Через первый бокс проходит шлюзовая камера, соединенная с камерой взаимодействия ИМЛУ. Внутри данного бокса через люк шлюзовой камеры должен осуществляться монтаж сборки микромишени, полученной из «Фабрики мишеней», к блоку с криостатом и системой наполнения оболочек через капилляр (НОЧК). Второй бокс,

соединенный с первым боксом через герметичную дверцу, имеет шлюз и порт для переносного контейнера и предназначен в основном для процедур демонтажа мишеней сборок и утилизации остатков мишеней после их использования.

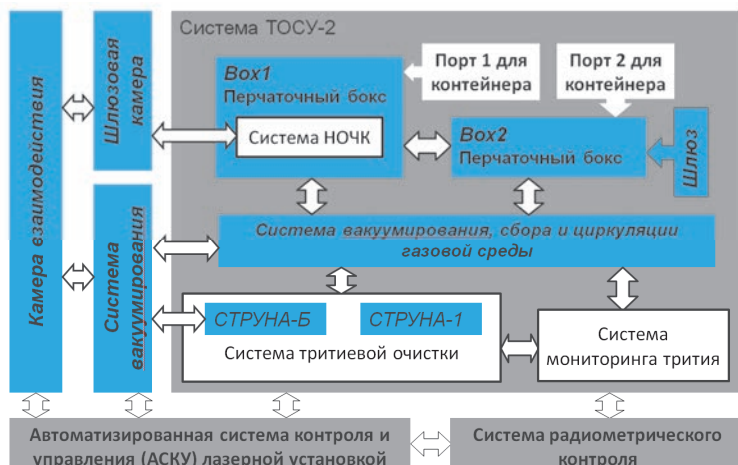


Рис. 11. Структурная схема системы ТОСУ-2

На рис. 12 показаны принципиальная газовакуумная схема и внешний вид системы НОЧК, которая служит для подачи требуемого количества дейтерий-тритиевой смеси (DT-смеси) в мишенную сборку, соединяемую с системой через клапан с дистанционным управлением. Система состоит из генератора (источника А1) DT-смеси на основе гидрида урана, датчика давления ВР1, одного технологического вентиля VP1 и трех электромагнитных клапанов VE1–VE3, управляемых дистанционно. Источник А1, как и все генераторы, предназначенные для работы с тритием, имеет дополнительный рубеж защиты, внутренняя полость которого соединена с титановым геттером ГТ для поглощения трития, продиффузировавшего через первую стенку ампулы с гидридом урана. Емкость источника А1 рассчитана на 5–10 заполнений мишеней.

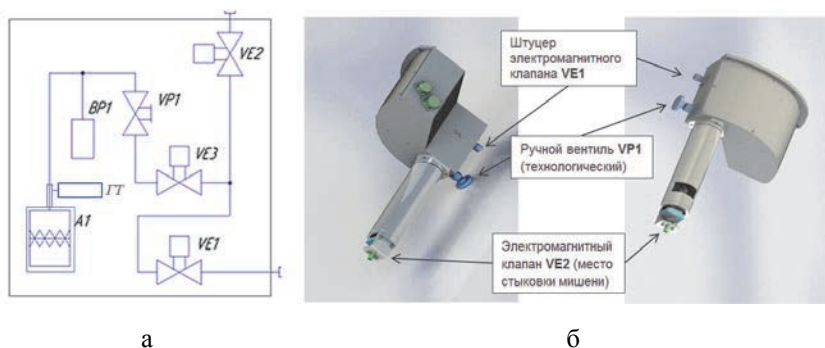


Рис. 12. Принципиальная газовакуумная схема (а) и вид (б) системы НОЧК: А1 – источник ( $m(^{238}\text{U}) = 0,8 \text{ г}$ ); ВР1 – угловой ручной вентиль; ВР1 – датчик давления (до 0,25 МПа); ГТ – титановый геттер; VE1–VE3 – электромагнитный клапан

Устройство НОЧК в первом боксе системы ТОСУ-2 закрепляется в единый блок с криостатом узла ввода криогенной мишени, который в дальнейшем посредством системы транспортировки и точного позиционирования мишени по каналу шлюзовой камеры через шиберный затвор перемещается в камеру взаимодействия установки лазерного термоядерного синтеза.

Предполагается следующая последовательность работы с системой НОЧК.

1) Из переносного контейнера, подсоединенного к первому боксу ТОСУ-2, мишенная сборка, предварительно подготовленная и проверенная на «Фабрике мишеней», переносится и монтируется к криостату и системе НОЧК через люк в шлюзовой камере.

2) После установки мишени проводится ее охлаждение криостатом и наполнение DT-смесью с постоянным мониторингом данных процессов с помощью диагностического оборудования.

3) При полной готовности криомишени открывается шиберный затвор, соединяющий узел ввода (шлюзовую камеру) с камерой взаимодействия, и мишенный блок опускается на позицию для последующего импульсного воздействия лазерными пучками.

4) После лазерного воздействия и проведения измерений в камере взаимодействия остатки мишенной сборки вновь поднимаются в шлюзовую камеру, где через люк в боксе происходит монтаж новой мишени или демонтаж системы НОЧК для последующей «заправки» DT-смесью на комплексе «Фабрика мишеней».

Разветвленная система вакуумирования, сбора и циркуляции газовой среды включает в состав инфраструктуры ТОСУ-2, кроме коммуникаций, еще четыре накопительных ресивера (суммарный объем до  $15 \text{ м}^3$ ) и вакуумные посты. При этом система тритиевой очистки состоит из стандартного блока газоочистки (СТРУНА-1), который предназначен для очистки боксов, шлюзовой камеры с узлом ввода криомишени и одного из ресиверов (связанного с боксами), а также блока газоочистки с повышенной производительностью (СТРУНА-Б), который должен очищать газовую среду, накопленную в трех ресиверах, от системы вакуумирования ИМЛУ, и непосредственно камеру взаимодействия (объемом около  $650 \text{ м}^3$ ) после проведения экспериментов в случае превышения в ней контрольных уровней ОА по тритию.

На рис. 13 показана принципиальная газовакуумная схема газоочистки большой производительности (СТРУНА-Б), состоящая из двух блоков: блока конвертации (БК) с четырьмя конвертерами на основе палладиевого катализатора (тип АПН) и дополнительного блока адсорбции (ДБА) с одиннадцатью адсорберами, три из которых могут насыщаться в замкнутом контуре до значений ОА, превышающих контрольные уровни для лабораторных помещений, и утилизироваться впоследствии. Ожидается, что данная газоочистка позволит очищать газовую среду в коммуникациях до уровня ОА не выше  $5 \cdot 10^6 \text{ Бк/м}^3$ .



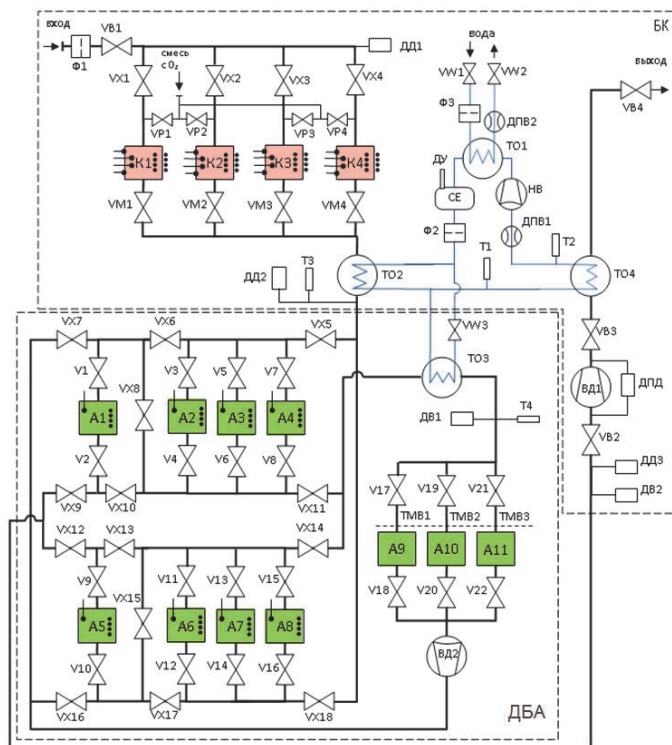


Рис. 13. Принципиальная газовакуумная схема газоочистки большой производительности СТРУНА-Б: Ф1 – воздушный фильтр; VB1–VB4 – вентиль с фланцем DN63; VX1–VX18 – вентиль с фланцем DN50; V1–V22 – вентиль с фланцем DN40; VW1–VW3 – вентиль водопроводный; VP1–VP4 – вентиль с цанговым соединением; ДД1–ДД3 – датчик давления; K1–K4 – конвертер с нагревателем; VM1–VM4 – вентиль с фланцем DN40; Ф2–Ф3 – водяной фильтр грубой очистки; ТО1–ТО4 – водяной теплообменник; Т1–Т4 – температурные датчики; ДПВ1–ДПВ2 – датчик потока воды; СЕ – резервуар для воды; НВ – насос водяной; ДУ – датчик уровня воды; ДВ1–ДВ2 – датчик влажности газа; А1–А8 – адсорбер с цеолитом и нагревателем; А9–А11 – адсорбер с цеолитом без нагревателя; ВД1–ВД2 – воздухоудувка; ДПД – дифференциальный датчик давления; ТМВ1–ТМВ3 – тензометрический датчик веса

Основная часть инфраструктуры ТОСУ-2, кроме газоочистки большой производительности СТРУНА-Б, была изготовлена и испытана на производственной базе ООО «Дзержинскиммаш» (Россия) и в настоящее время монтируется в состав инфраструктуры ИМЛУ.

Следует отметить, что составные части тритиевой инфраструктуры располагаются в специальных помещениях, предназначенных для работы с тритием по II классу работ с открытыми источниками излучений, и все работы проводятся в соответствии с требованиями ОСПОРБ 99/2010 [7].



## Заключение

Тритиевая инфраструктура для установки лазерного термоядерного синтеза, состоящая из двух отдельных систем ТОСУ-1 (на комплексе «Фабрика мишеней») и ТОСУ-2, разработана для обеспечения безопасного функционирования, обслуживания и постоянного снабжения тритиевой газообразной смесью специализированных стендов для наполнения оболочек мишеней, а также проведения радиометрического контроля газовой среды и утилизации радиоактивных отходов.

Система ТОСУ-1 на комплексе «Фабрика мишеней», как показали тестовые испытания, обеспечивает под автоматизированным управлением СКУ различные режимы очистки газовой среды от трития до уровня ОА не более  $5 \cdot 10^5$  Бк/м<sup>3</sup>. При этом система мониторинга трития в боксах и технологических линиях работает в режиме реального времени и позволяет проводить учет баланса трития.

Система ТОСУ-2, совмещенная с коммуникациями лазерной установки термоядерного синтеза, должна обеспечивать очистку газовой среды боксов и ресиверов от тритийсодержащих примесей, а также отдельную очистку камеры взаимодействия, по предварительным расчетам, до безопасного уровня ОА не более  $5 \cdot 10^6$  Бк/м<sup>3</sup>.

## Список литературы

1. Установка радиометрическая УДГБ-01. Руководство по эксплуатации ФВКМ.412123.003РЭ // НПП «Доза».
2. Изгородин В. М., Соломатина Е. Ю., Пепеляев А. П., Рогожина М. А., Осетров Е. И. Наполнение полистирольной микросферы изотопами водорода с последующим замораживанием // Сб. докл. 14-й науч.-техн. конф. IHISM-2015. – Саров: РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2015. С. 416.
3. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2006612848 от 10.08.2006 г. «Программа для автоматизации физических измерений и экспериментальных установок» (CRW-DAQ) / А. В. Курякин, Ю. И. Виноградов.
4. Курякин А. В., Виноградов Ю. И. Программное обеспечение автоматизированных измерительных систем в области тритиевых технологий // Вопросы атомной науки и техники. Сер. Термоядерный синтез. 2008. Вып. 2. С. 80–90.
5. Distributed Information Management System [Electronic resource]. – <https://dim.web.cern.ch/dim>.
6. Gaspar C., Dönszelmann M., Charpentier Ph. DIM, a portable, light weight package for information publishing, data transfer and inter-process communication // Computer Phys. Commun. 2001. Vol. 140, Issues 1–2. P. 102–109.
7. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности. ОСПОРБ 99/2010.