

## **Разработка технического проекта и изготовление опытного образца испытательного вакуумного стенда**

### **1. Цель и задачи СЧ НИОКР**

#### **1.1. Цель выполнения СЧ НИОКР**

Разработка технического проекта испытательного вакуумного стенда (далее – стенд), предназначенного для проверки технических решений и испытаний узлов вакуумных систем, имеющихся у Заказчика и входящих в состав исследовательской установки «СИЛА» (далее – ИУ «СИЛА»), разработка методик расчета и определения вакуумных параметров, разработка рабочей конструкторской документации и изготовление опытного образца стенда.

#### **1.2. Задачи СЧ НИОКР**

- 1.2.1.** Разработка расчетной схемы, методики расчета и экспериментального определения вакуумных параметров узлов вакуумной системы ИУ «СИЛА» на примере прототипа вакуумной камеры №8 (разработка и изготовление прототипа вакуумной камеры №8 не входит в состав работ настоящего ТЗ) накопительного кольца (далее – НК) ИУ «СИЛА», а именно: определение величины потока газовыделений и натеканий, предельного создаваемого давления, массового состава остаточного газа (далее – вакуумные параметры).
- 1.2.2.** Расчет распределения давления по длине вакуумной камеры ИУ «СИЛА» на примере прототипа вакуумной камеры №8 НК ИУ «СИЛА».
- 1.2.3.** Разработка программы расчета распределения давления в вакуумной камере НК ИУ «СИЛА» и её апробация на примере прототипа вакуумной камеры №8 НК ИУ «СИЛА».
- 1.2.4.** Разработка рекомендаций по методам получения и поддержания заданного давления (методам обработки поверхностей, снижения величины потока газовыделений) в вакуумной камере ИУ «СИЛА» на примере прототипа вакуумной камеры №8 НК ИУ «СИЛА».
- 1.2.5.** Разработка технического проекта опытного образца стенда в согласованном между Исполнителем и Заказчиком объеме.
- 1.2.6.** Разработка рабочей конструкторской документации опытного образца стенда.
- 1.2.7.** Разработка необходимой сопроводительной и эксплуатационной документации, в том числе инструкции по эксплуатации, паспорта.
- 1.2.8.** Разработка программы и методики испытаний стенда.
- 1.2.9.** Изготовление опытного образца стенда.

**1.2.10.** Проведение испытаний опытного образца стенда для проверки технических решений и испытаний узлов вакуумных систем, имеющихся у Заказчика.

## **2. Исходные данные для выполнения СЧ НИОКР**

### **2.1. Прототип вакуумной камеры №8 НК ИУ «СИЛА»**

Испытательный вакуумный стенд предназначен для работы с различными узлами и элементами вакуумной системы ИУ «СИЛА». Разрабатываемый в рамках данной СЧ НИОКР стенд предназначен, в первую очередь, для работы с вакуумными камерами НК.

Для определения вакуумных параметров узлов вакуумной системы ИУ «СИЛА» будет использован прототип вакуумной камеры №8 (рисунок 1) НК ИУ «СИЛА», а также встроенных в нее поглотителей 8-1-2 и 8-2-2 (поглотители 8-1-2 и 8-2-2 не входят в состав работ настоящего ТЗ) синхротронного излучения (далее – СИ).

Вакуумные камеры, входящие в состав НК ИУ «СИЛА», рассчитаны на работу при сверхвысоком вакууме. Расчетное рабочее давление при наличии пучка электронов составляет до  $10^{-8}$  Па.

Прототип вакуумной камеры №8 подразделяется на сборочные узлы (рисунок 2) с учетом устанавливаемого снаружи магнита: квадруполь QF8D, диполь DQ1D, квадруполь QF6D.

Магнитопроводы во внутреннем объеме вакуумной камеры не применяются.

Конструкция вакуумной камеры №8 не предусматривает установки датчиков измерения давления.

Характеристики прототипа вакуумной камеры №8 приведены в таблице 1.

Таблица 1. Основные параметры прототипа вакуумной камеры №8

Наименование параметра	Требование
Рабочий газ	воздух
Объем, м <sup>3</sup>	$13,392 \cdot 10^{-3}$
Площадь внутренней поверхности, м <sup>2</sup>	1,145
Материал камеры	AISI 316L
Расчетное рабочее давление, Па	$1 \cdot 10^{-8}$
Температура помещения места установки, °С	22±0.5
Присоединительные фланцы	CF160 – 2 шт. CF100 – 3 шт. CF63 – 1 шт. CF40 – 3 шт. CF16 – 1 шт.
Длина, м	2,3
Масса, кг	80

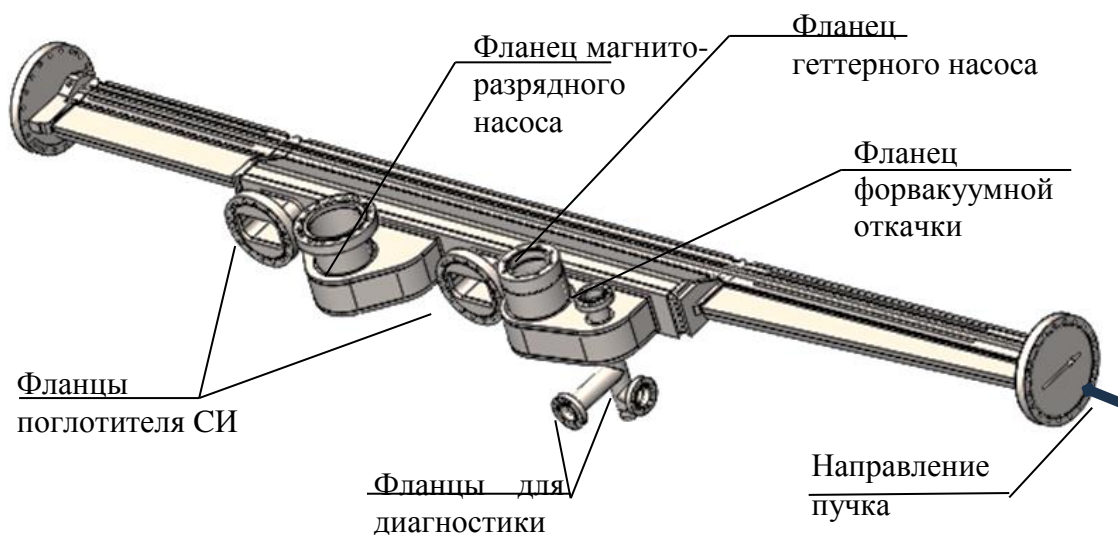


Рисунок 1. Общий вид прототипа вакуумной камеры №8.

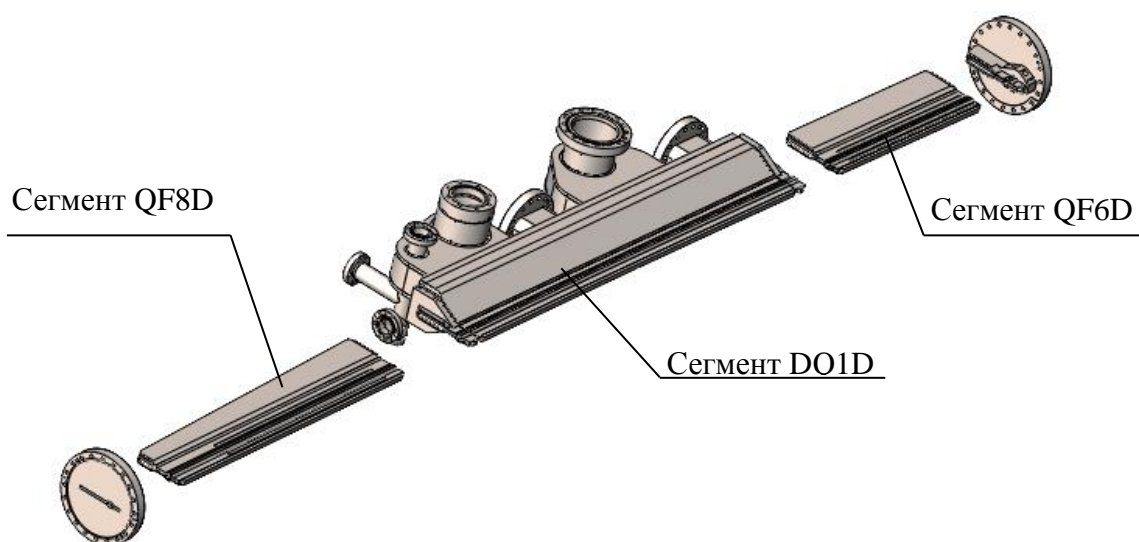


Рисунок 2. Деление вакуумной камеры на сборочные узлы

## 2.2. Описание поглотителей синхротронного излучения

Поглотители предназначены для защиты вакуумной камеры от воздействия СИ. Отражённое от поглотителя излучение блокируется экраном, являющимся частью общей с самим поглотителем узла.

В вакуумной камере №8 используются поглотители синхротронного излучения 8-1-2 и 8-2-2. Их характеристики приведены в таблице 2.

Таблица 2. Характеристики поглотителей СИ:

Номер поглотителя	8-1-2	8-2-2
Тип	Зубчатый	Зубчатый
Материал	CuCr1Zr	CuCr1Zr
Поглощаемая мощность, Вт	1000	1200
Охлаждение	Водяное	Водяное
Длина устройства, мм	[120-140]	[120-140]
Присоединительный фланец: в соответствии с ГОСТ 26526-85. Оборудование вакуумное. Соединения фланцевые для сверхвысоковакуумных систем.	Ду 100 (CF 100), исполнение 1	Ду 100 (CF 100), исполнение 1

### 3. Технические требования

#### 3.1. Общие требования

Стенд предназначен для расширенной проверки технических решений и углубленных испытаний узлов вакуумных систем ИУ «СИЛА».

Стенд должен обеспечить определение следующих вакуумных параметров: величина потока газовыделений и натеканий, предельное создаваемое давление, массовый состав остаточного газа.

При разработке стенда необходимо учесть назначение и характеристики прототипа вакуумной камеры №8, которая является частью НК ИУ «СИЛА», а также поглотителей СИ 8-1-2 и 8-2-2, встраиваемых в нее.

Применение масляных вакуумных насосов в составе оборудования опытного образца стенда, контактирующего с внутренним объемом вакуумной камеры, недопустимо.

Допустимое давление в исследуемой вакуумной камере при определении вакуумных параметров с использованием стенда: от  $10^{-5}$  до  $10^{-9}$  Па. При этом требования по имитации электронного пучка не предъявляются.

Стенд должен иметь общее программное обеспечение для сбора и обработки экспериментальных данных с регистрирующих и управляющих устройств (датчиков давления, контроллеров насосов, масс-спектрометров и т.п.), реализованное в виде Локальной системы управления стендом (далее – ЛСУ ИВС).

#### 3.2. Состав опытного образца испытательного вакуумного стенда

Состав стенда определяется по итогам разработки технического проекта и РКД, включая в себя следующее:

### 3.2.1. Средства измерения массового состава остаточных газов.

Для измерения состава остаточного газа предусмотреть масс-спектрометр. Характеристики масс-спектрометра приведены в таблице 3.

Таблица 3. Характеристики масс-спектрометра

Наименование параметра	Требование
Диапазон измерения массовых чисел, не менее	1-100 а.е.м.
Разрешающая способность, не более:	10% от высоты пика
Минимально детектируемое парциальное давление газа, не более	$10^{-9}$ Па

### 3.2.2. Средства откачки.

Состав средств откачки разрабатывается Исполнителем и согласуется с Заказчиком.

Средства откачки должны обеспечить диапазон рабочих давлений для проведения исследований на вакуумные параметры: от  $10^{-5}$  до  $10^{-9}$  Па.

Допускается использование только сухих средств откачки.

Требования по времени выхода на уровни давления среднего/высокого/сверхвысокого вакуума не предъявляются.

Стенд работает в 3-х режимах откачки, выбираемых в локальной системе управления (далее - ЛСУ ИВС):

#### 1. Форвакуумный.

Для обеспечения форвакуумной откачки предусмотреть безмаслянный форвакуумный насос в диапазоне рабочих давлений от  $10^5$  до 10 Па.

#### 2. Высоковакуумный.

Для обеспечения высоковакуумной откачки предусмотреть турбомолекулярный вакуумный насос (далее - ТМН) с предельным рабочим давлением не более  $10^{-6}$  Па.

Требования к подшипниковому узлу ТМН: керамический подшипник с консистентной смазкой или магнитный подвес.

Допустимо исполнение форвакуумного и высоковакуумного насосов в составе единого высоковакуумного откачного поста.

#### 3. Сверхвысоковакуумный.

Для обеспечения сверхвысоковакуумной откачки предусмотреть сверхвысоковакуумные насосы на основании данных, приведенных в табл. 4 и табл. 5 с техническими параметрами не хуже указанных, если иное не обосновывается расчетом.

Предложения по применению геттерной пленки, ее химический состав и места нанесения разрабатываются Исполнителем.

Таблица 4. Характеристики насоса магниторазрядного

Наименование параметра	Требование
1. Скорость откачки по азоту, л/с:	не менее 50
2. Предельное давление (температура окружающей среды $\leq 25^{\circ}\text{C}$ ), Па:	не менее $10^{-8}$
3. Температура отжига, $^{\circ}\text{C}$ :	не более 400
4. Присоединительный фланец:	CF100*

\*- параметр уточняется при проектировании

Таблица 5. Характеристики насоса с нераспыляемым геттером

Наименование параметра	Требование
1. Скорость откачки по азоту, л/с:	не менее 80
2. Предельное давление (температура окружающей среды $\leq 25^{\circ}\text{C}$ ), Па:	$\leq 5 \times 10^{-8}$
3. Наибольшее рабочее давление, Па:	$\leq 1 \times 10^{-3}$
4. Максимальная температура активации, $^{\circ}\text{C}$ :	не более 500
5. Присоединительный фланец:	CF63*

\*- параметр уточняется при проектировании

### 3.2.3. Средства проверки на герметичность.

Проверка на герметичность (наличие натеканий) осуществляется при помощи масс-спектрометра по одновременному повышению пиков  $\text{N}_2$ ,  $\text{O}_2$ , Ar.

Локализация натеканий осуществляется гелиевым масс-спектрометрическим течеискателем в мобильном исполнении (на тележке). Основные параметры приведены в таблице 6.

Таблица 6. Технические характеристики течеискателя гелиевого масс-спектрометрического

Наименование параметра	Требование
Регистрируемые газы:	$^4\text{He}$
Минимально регистрируемый поток гелия (вакуумный метод), не более	$5 \times 10^{-13}$ Па x м <sup>3</sup> /с
Минимально регистрируемый поток гелия (метод щупа), не более	$5 \times 10^{-10}$ Па x м <sup>3</sup> /с
Безмасляная система вакуумной откачки	наличие
Входной фланец прибора: в соответствии с ISO2861	DN 25 ISO- KF
Встроенная гелиевая течь	наличие
Электропитание: - напряжение переменного тока, В - частота переменного тока, Гц	220 ± 22 50 ± 1
Условия эксплуатации: - диапазон рабочих температур окружающего воздуха, $^{\circ}\text{C}$ - относительная влажность воздуха, % - атмосферное давление, кПа	от +10 до +35 не более 80 от 84 до 106,7

### 3.2.4. Средства измерения давления.

Средства измерения давления стенда должны обеспечить измерение абсолютного давления в диапазоне от  $10^5$  до  $10^{-9}$  Па. (приведены в таблице 7).

Таблица 7. Характеристики средств измерения давления

Наименование параметра	Требование
Диапазон измеряемых давлений	$10^5 \dots 10^{-9}$ Па
Диапазон рабочих температур	5 .. 60 °С
Пределы относительной допускаемой погрешности: - в диапазоне $10^5 - 2 \times 10^3$ , Па - в диапазоне $2 \times 10^3 - 2 \times 10^{-1}$ , Па - в диапазоне менее $2 \times 10^{-1}$ , Па	не более 30% не более 10% не более 30%
Допустимая температура прогрева (с отсоединенной электроникой), не более	400 °С

### 3.2.5. Система обезгаживания прогревом.

Основное назначение системы обезгаживания прогревом вакуумных камер НК – удаление паров воды.

В качестве нагревателя применяется кабель в металлической оболочке.

Максимальная температура прогрева: не менее 180 °С.

Скорость повышения температуры: не менее 5 °С/час.

Система обезгаживания прогревом разрабатывается Исполнителем и поставляется Заказчику со всеми необходимыми компонентами для запуска и работы включая, но не ограничиваясь: источник тока, кабель, температурный датчик.

### 3.2.6. Опорные конструкции для размещения вакуумных камер НК

Опорные конструкции предназначены для размещения отдельных элементов стенда и исследуемых узлов вакуумных камер.

При проектировании опорных конструкций предусмотреть возможность размещения на них прототипа вакуумной камеры №8 НК ИУ «СИЛА». Для этого в РКД необходимо предусмотреть каркас, служащий для крепления в пространстве указанной вакуумной камеры.

Каркас должен обеспечивать возможность ориентирования в пространстве вакуумной камеры в соответствии с ее рабочим положением.

Крепление прототипа вакуумной камеры №8 на каркасе должно учитывать ее линейное расширение при обезгаживании с использованием системы прогрева.

Способ крепления разрабатывается Исполнителем и согласуется с Заказчиком.

### **3.2.7. Монтажный комплект**

Комплектация монтажного комплекта стенда разрабатывается Исполнителем на этапе 1 и должна включать в себя:

- комплект соединительных элементов, включающий в себя вакуумную арматуру (переходники, заглушки, тройники, сильфоны, уплотнительные и центрирующие кольца, хомуты и т.п.), арматуру и крепежные изделия общего назначения (болты, гайки и т.п.);
- комплект инструментов для монтажа и демонтажа вакуумных камер и обслуживания опытного образца стенда вакуумных испытаний;
- комплект запасных частей, инструментов и принадлежностей (далее – ЗИП).

Состав монтажного комплекта, количественный и качественный состав ЗИП, ведомость покупных изделий разрабатывается Исполнителем и согласуется с Заказчиком.

### **3.2.8. ЛСУ ИВС**

ЛСУ ИВС предназначена для сбора и обработки экспериментальных данных с регистрирующих и управляющих устройств (датчиков давления, контроллеров насосов, масс-спектрометров и т.п.). В ЛСУ ИВС должно входить автоматизированное рабочее место (АРМ) оператора в составе:

- персональный компьютер с соответствующим системным, базовым и прикладным программным обеспечением (ОЗУ не менее 16 ГБ, ПЗУ твердотельный (SSD) не менее 1ТБ, процессор: ядер не менее 8, тактовая частота не менее 2 ГГц, интерфейсы ввода-вывода: RS-232/422/4852- не менее 2 шт, USB- не менее 6 шт, HDMI- не менее 1 шт; Ethernet порт- не менее 1 шт; слоты расширения: PCI express –не менее 2 шт);
- монитор (диагональ не менее 24”, разрешение не менее 1920x1080);
- манипулятор «мышь»;
- клавиатура.

Интерфейс программного обеспечения должен быть реализован на русском языке. Требования к языку программирования не предъявляются. Программный код передается Заказчику.

### **3.3. Требования к техническому проекту**

Технический проект выполняется в соответствии с ГОСТ 2.102-2013, ГОСТ 2.103-2013 и ГОСТ 2.120-2013 и должен включать в себя:

- разработку принципиальной схемы вакуумной системы (включая расчет, подбор, рекомендации по выбору средств откачки и соединительных элементов);
- разработку решений по выбору средств измерения давления;



- обоснование выбора средства измерения массового состава остаточных газов;
- обоснование выбора средства проверки на герметичность;
- разработку электрической схемы стенда;
- разработку системы обезгаживания прогревом;
- разработку принципиальных решений опорных конструкций;
- разработку структурной схемы ЛСУ ИВС

### **3.4. Условия выполнения работ**

#### **3.4.1. Электромагнитная совместимость**

Разработку оборудования проводить с учетом требований ГОСТ 28934-91. Совместимость технических средств электромагнитная. Содержание раздела технического задания в части электромагнитной совместимости и ГОСТ 29192-91. Совместимость технических средств электромагнитная. Классификация технических средств.

#### **3.4.2. Требования живучести и стойкости к внешним воздействиям**

С учетом требований ГОСТ 21964-76. Внешние воздействующие факторы. Номенклатура и характеристики.

#### **3.4.3. Требования надежности**

С учетом требований ГОСТ 27.003-2016. Надежность в технике. Состав и общие правила задания требований по надежности.

Требования к сроку службы – разрабатываемый опытный образец должен иметь назначенный срок службы 5 лет и назначенный ресурс 3 года.

#### **3.4.4. Требования по ремонтности**

Должна быть предусмотрена необходимая доступность к отдельным составным частям оборудования для технического обслуживания и ремонта без демонтажа других составных частей.

Должна быть предусмотрена возможность замены составных частей или элементов, проведение текущего ремонта силами эксплуатационного персонала.

#### **3.4.5. Требования к безопасности**

В отношении электробезопасности - в соответствии с ГОСТ Р 12.1.019-2017 «Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты»

В отношении пожаробезопасности и взрывобезопасности – в соответствии с ГОСТ 12.1.033-81 «Государственный стандарт Союза ССР. Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Термины и определения», ГОСТ 12.1.004-91

«Межгосударственный стандарт. Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования» и ГОСТ 12.1.010-76 «Межгосударственный стандарт. Система стандартов безопасности труда. Взрывобезопасность. Общие требования».

#### **3.4.6. Требования к эксплуатации.**

Продолжительность непрерывной работы и виды технического обслуживания испытательного вакуумного стенда устанавливаются в эксплуатационной документации (ЭД).

Климатическое исполнение поставляемого по данному техническому заданию оборудования должно соответствовать категории УХЛ 4.2 по ГОСТ 15150-69.

Испытательный стенд должен сохранять эксплуатационные характеристики при хранении в отопливаемых складских помещениях [не менее 5 лет] при температуре в диапазоне от 15°C до 35°C и относительной влажности воздуха [до 70 %] (за исключением стандартных изделий и расходных материалов, срок хранения которых определяется по их паспортным данным).

#### **3.4.7. Требования к программному обеспечению.**

Программное обеспечение должно позволять сохранять данные измерения, строить эпюры для графического анализа, осуществлять контроль за вакуумметрами, а также выполнять вычисление утечек (натеканий). Исходный код разрабатываемого ПО передается Заказчику. Интерфейс программного обеспечения должен быть реализован на русском языке. Передача данных должна осуществляться через USB, Ethernet.

### **4. Требования к методикам расчета и определения вакуумных параметров узлов вакуумной системы ИУ «СИЛА»**

Расчет распределения давления по длине камеры и быстроты действия средств откачки должен включать в себя:

- Анализ возможностей и применимости существующих методов расчета для вакуумных камер ближнего функционала, в том числе с использованием следующих методов: аналог методов сплошной среды, метод статистических испытаний, метод угловых коэффициентов;
- Расчет распределения давления по длине камеры и быстроты действия средств откачки с использованием следующих методов: аналог методов сплошной среды, метод статистических испытаний, метод угловых коэффициентов. Перечень методов может быть расширен с учетом проведенного анализа возможностей и применимости существующих методов расчета давления по длинам вакуумных камер ближнего функционала.

- Сравнение полученных результатов с экспериментальными данными.
- Проверка результатов расчета и определение точности расчета.

## **5. Требования к программе расчета и определения вакуумных параметров узлов вакуумной системы ИУ «СИЛА»**

Расчет распределения давления должен быть выполнен в виде программы, написанной Исполнителем. Требования к языку программирования не предъявляются. Программа расчета и программный код программы расчета распределения давления передается Заказчику. Программа может быть установлена на персональный компьютер, входящий в состав АРМ оператора (см. п.4.2.8).

Входные параметры для работы программы:

- геометрические размеры камеры;
- материал камеры, либо величина газовыделений материала;
- номинальные быстроты действия средств откачки;
- расстояния между средствами откачки.

Выходные параметры:

- матрица значений давлений в точках длины камеры;
- график распределения давления по длине камеры.

Требования к языку программирования не предъявляются.

## **6. Требования к документации**

Требования к конструкторской документации согласно:

- ГОСТ 2.001-2013. Межгосударственный стандарт. Единая система конструкторской документации. Общие положения.
- ГОСТ 2.102-2013. Межгосударственный стандарт. Единая система конструкторской документации. Виды и комплектность конструкторских документов.
- ГОСТ 2.103-2013. Межгосударственный стандарт. Единая система конструкторской документации. Стадии разработки.

Требования к конструкторским документам, которые разрабатываются и применяются в электронном виде, согласно стандартам ЕСКД;

Требования к технологической документации согласно:

- ГОСТ 3.1001-2011. Межгосударственный стандарт. Единая система технологической документации. Общие положения.

- ГОСТ 3.1102-2011. Межгосударственный стандарт. Единая система технологической документации. Стадии разработки и виды документов. Общие положения.

### **7. Требования и условия к разработке природоохранных мер и мероприятий**

Требования и условия к разработке природоохранных мер и мероприятий не предъявляются.

### **8. Требования к сырью, материалам и КИМП**

Номенклатура изделий межотраслевого применения должна быть предельно унифицированной.

Изделия межотраслевого применения должны быть изготовлены, в первую очередь, на предприятиях Российской Федерации.

Допускается использование изделий внешней поставки импортного производства, утвержденных по согласованию с Заказчиком.

### **13. Этапы выполнения СЧ НИОКР**

№ п/п	Наименование этапа Содержание выполняемых работ	Результаты работ и отчетные документы	Сроки выполнения	
			Начало	Окончание
1	1.1. Разработка технического проекта опытного образца стенда; 1.2. Разработка промежуточного научно-технического отчета, включающего: - разработку расчетной схемы, методики расчета и экспериментального определения вакуумных параметров узлов вакуумной системы на примере прототипа вакуумной камеры №8 НК ИУ «СИЛА». - расчеты распределения давления по длине вакуумной камеры ИУ «СИЛА» на примере прототипа вакуумной камеры №8 НК ИУ «СИЛА» - разработку рекомендаций по	1.1. Технический проект опытного образца стенда;  1.2. Промежуточный научно-технический отчет;	С даты заключения контракта	20.01.25

	<p>методам получения и поддержания заданного давления (методам обработки поверхностей, снижения величины потока газовыделений) в вакуумной камере ИУ «СИЛА» на примере прототипа вакуумной камеры №8 НК ИУ «СИЛА»;</p> <p>1.3. Разработка программы расчета распределения давления в вакуумной камере НК ИУ «СИЛА» и её апробация на примере прототипа вакуумной камеры №8 НК ИУ «СИЛА».</p>	<p>1.3. Программа и программный код программы расчета распределения давления.</p>		
2	<p>2.1. Разработка рабочей конструкторской документации опытного образца стенда;</p> <p>2.2. Подготовка ведомости покупных изделий, комплектующих, материалов, спецоборудования для выполнения СЧ НИОКР;</p> <p>2.3. Разработка необходимой сопроводительной и эксплуатационной документации, в том числе инструкции по эксплуатации, паспорта.</p> <p>2.4. Разработка программы и методики испытаний стенда;</p> <p>2.5. Изготовление опытного образца испытательного вакуумного стенда;</p> <p>2.6. Проведение испытаний опытного образца стенда для проверки технических решений и испытаний узлов вакуумных систем, имеющих у Заказчика;</p> <p>2.7. Разработка итогового научно-технического отчета.</p>	<p>2.1. Комплект рабочей конструкторской документации на опытный образец стенда;</p> <p>2.2. Ведомость покупных изделий, комплектующих, материалов, спецоборудования для выполнения СЧ НИОКР;</p> <p>2.3. Комплект сопроводительной и эксплуатационной документации опытного образца стенда;</p> <p>2.4. Программа и методика испытаний стенда</p> <p>2.5. Акт изготовления стенда. Акт о приеме-передаче объектов нефинансовых активов (ОКУД 0510448);</p> <p>2.6. Акт проведения испытаний опытного образца стенда для проверки технических решений и испытаний узлов вакуумных систем, имеющих у Заказчика.</p> <p>2.7. Итоговый научно-технический отчет;</p>	21.01.25	31.10.25

### 15. Срок гарантии на выполненные работы

12 месяцев с даты подписания в ЕИС документа о приемке по последнему этапу.