

## **Разработка и изготовление прототипов и экспериментальных образцов элементов системы управления ускорительно-накопительного комплекса**

### **1. Цели и основные задачи**

1.1. Целью выполнения НИОКР является разработка и изготовление прототипов для:

- апробации основных технологических решений при создании автоматизированной системы управления источника синхротронного излучения «СИЛА» (далее – СИЛА-САУ);
- обеспечения решения задачи импортозамещения в области компонентов автоматизированных систем управления, синхронизации и диагностики для установок класса «мегасайнс»;
- обеспечения решения задачи технологической независимости в части систем управления установок класса «мегасайнс».

1.2. Достижение поставленной цели обеспечивается решением следующих задач:

1.2.1. Разработка комплекса взаимосвязанных и взаимодействующих между собой систем, входящих в СИЛА-САУ. Для разработки данных систем необходимо подготовить частные технические задания и технические проекты на отдельные системы СИЛА-САУ, такие как:

- система ВЧ синхронизации;
- система технологической синхронизации;
- система управления магнитной системы;
- система диагностики пучка.

Состав технических проектов систем должен включать:

- ведомость проекта;
- пояснительную записку к техническому проекту;
- структурную схему комплекса технических средств;
- схему расположения;
- перечень входных сигналов и данных;
- перечень выходных сигналов (документов);
- описание автоматизируемых функций;
- описание алгоритмов;
- ведомость покупных изделий.

1.2.2. Разработка и изготовление прототипа системы ВЧ синхронизации ускорительно-накопительного комплекса исследовательской установки «СИЛА» для проверки выбранных решений технического проекта.

1.2.3. Для этого необходимо решить следующие подзадачи:

1.2.3.1. Разработка документации:

- частного технического задания;
- эскизной конструкторской документации на прототип и его компоненты;
- программной документации;
- программы и методики испытания прототипа;
- раздела научно-технического отчета.

1.2.3.2. Изготовление прототипа и его компонентов, включая:

- генератор опорной частоты (ГОЧ);
- электрооптический преобразователь (ЭОП);
- оптоэлектрический преобразователь (ОЭП);
- разветвитель оптического сигнала (ОР);
- блок подготовки ВЧ сигнала (ПВЧС);
- усилитель мощности сигналов (УМ).

1.2.3.3. Предварительные и приемочные испытания прототипа.

1.2.4. Разработка и изготовление прототипа системы технологической синхронизации ускорительно-накопительного комплекса исследовательской установки «СИЛА» для проверки выбранных решений технического проекта. Для этого необходимо решить следующие подзадачи:

1.2.4.1. Разработка документации:

- частного технического задания;
- эскизной конструкторской документации на прототип и его компоненты;
- программной документации;
- программы и методики испытания прототипа;
- раздела научно-технического отчета.

2.2.3.2. Изготовление прототипа и его компонентов, включая:

- головное устройство низкоскоростного сегмента технологической системы синхронизации (ГУТСС);
- распределитель-коммутатор технологической системы синхронизации (РКТСС);
- оконечный модуль технологической системы синхронизации (ОМТСС);
- оконечное устройство технологической системы синхронизации (ОУТСС);
- модуль адаптации сетей (МАС);
- модуль генерации событий (МГС);
- модуль оконечного устройства (МОУ).

2.2.3.3. Предварительные и приемочные испытания прототипа.

1.2.5. Разработка и изготовление прототипа системы управления магнитной системой ускорительно-накопительного комплекса исследовательской установки «СИЛА» для проверки выбранных решений технического проекта.

1.2.6. Для этого необходимо решить следующие подзадачи:

1.2.6.1. Разработка документации:

- частного технического задания;
- эскизной конструкторской документации на прототип и его компоненты;
- программной документации;
- программы и методики испытания прототипа;
- раздела научно-технического отчета.

1.2.6.2. Изготовление прототипа и его компонентов, включая:

- источник питания основных магнитов BS (ИП BS);
- источник питания корректора SC (ИП SC);

1.2.6.3. Предварительные и приемочные испытания прототипа.

1.2.7. Разработка и изготовление экспериментального образца стенда (ЭОС) для калибровки датчиков и измерения положения пучка в ускорительно-накопительном

комплексе исследовательской установки «СИЛА». Для этого необходимо решить следующие подзадачи:

1.2.7.1. Разработка документации:

- частного технического задания;
- эскизной конструкторской документации на экспериментальный образец и его компоненты;
- программной документации;
- программы и методики испытания экспериментального образца;
- раздела научно-технического отчета.

1.2.7.2. Изготовление ЭОС и его компонентов, включая:

- электромеханическая часть стенда;
- модуль генерации тока (модуль имитатора);
- модуль измерения параметров датчиков положения пучка (модуль измерений);
- модуль управления приводами ЭОС (модуль управления).

1.2.7.3. Предварительные и приемочные испытания ЭОС.

1.2.8. Разработка и изготовление экспериментального образца блока имитации положения электронного и фотонного пучков (БИП) в ускорительно-накопительном комплексе исследовательской установки «СИЛА». Для этого необходимо решить следующие подзадачи:

1.2.8.1. Разработка документации:

- эскизной конструкторской документации на экспериментальный образец и его компоненты;
- программной документации;
- программы и методики испытания экспериментального образца;
- раздела научно-технического отчета.

1.2.8.2. Изготовление экспериментального образца блока имитации положения электронного и фотонного пучков и его компонентов.

1.2.8.3. Предварительные и приемочные испытания БИП.

## 2. Исходные данные

Для выполнения СЧ НИОКР должны быть использованы проектные параметры ускорительно-накопительного комплекса источника синхротронного излучения «СИЛА», которые определяют технические требования и функциональные характеристики разрабатываемых в рамках настоящей НИОКР прототипов и экспериментальных образцов:

- Энергия электронов в синхротроне - 6 ГэВ;
- Периметр синхротрона - 1110 м;
- Натуральный горизонтальный эмиттанс - не более 72 пм·рад;
- Вертикальный эмиттанс - не более 5 пм·рад;
- Дисперсия энергии электронов -  $0.85 \cdot 10^{-3}$ ;
- Максимальный ток электронов - 200 мА;
- Предельная максимальная мощность излучения - 20кВт;
- Пиковая удельная мощность –  $1000 \text{ Вт/мм}^2$ ;
- Количество сигналов всей СИЛА-САУ - около 200 000;
- Количество технологических узлов установки «СИЛА» - около 15 000.

### 3. Технические требования к прототипам и экспериментальным образцам разрабатываемых систем

#### 3.1. Состав выполняемых работ

В результате выполнения НИОКР должны быть изготовлены и испытаны:

- прототип системы ВЧ синхронизации ускорительно-накопительного комплекса исследовательской установки «СИЛА», включающий в себя:

- а) ГОЧ – 1 шт.;
- б) ЭОП – 4 шт.;
- в) ОЭП – 4 шт.;
- г) ОР частотой 2800 МГц – 2 шт.;
- д) ОР частотой 350 МГц – 3 шт.;
- е) ПВЧС частотой 2800 МГц – 2 шт.;
- ж) ПВЧС частотой 350 МГц – 2 шт.;
- з) УМ на частоту 2800 МГц сигналов – 2 шт.;
- и) УМ на частоту 350 МГц – 1 шт.;

- прототип системы технологической синхронизации ускорительно-накопительного комплекса исследовательской установки «СИЛА», включающий в себя:

- а) ГУТСС – 2 шт.;
- б) МАС 116МГц/40МГц – 2 шт.;
- в) МГС – 2 шт.;
- г) МОУ высокоскоростного сегмента технологической синхронизации – 4 шт.;
- д) ОМТСС – 2 шт.;
- е) ОУТСС – 2 шт.;
- ж) РКТСС – 2 шт.;

- прототип системы управления магнитной системой ускорительно-накопительного комплекса исследовательской установки «СИЛА», включающий в себя:

- а) ИП BS – 2 шт.;
- б) ИП SC – 3 шт.;
- в) выпрямитель AC/DC – 2 шт.

- экспериментальный образец стенда (ЭОС) для калибровки датчиков и измерения положения пучка – 1 шт.;

- экспериментальный образец блока имитации положения (БИП) электронного и фотонного пучков – 1 шт.;

- прикладное программное обеспечение и программная документация в соответствии с требованиями настоящего технического задания;

- конструкторская, техническая и иная сопроводительная документация в соответствии с требованиями настоящего технического задания и календарного плана.

#### 3.2. Общее назначение выполняемых работ:

- испытание прототипов и экспериментальных образцов систем, включая их компоненты, входящих в состав СИЛА-САУ;

- отработка информационного взаимодействия и проведение интеграционных испытаний компонентов систем, входящих в состав СИЛА-САУ;

- моделирование магнитной структуры ускорительно-накопительного комплекса и проверка алгоритмов управления магнитной системой с использованием обратной связи по положению электронного пучка;
- моделирование ВЧ структуры ускорительно-накопительного комплекса и проверка алгоритмов управления ВЧ системы;
- моделирование системы технологической синхронизации ускорительно-накопительного комплекса и проверка алгоритмов управления;
- тестирование компонентов системы безопасности ускорительно-накопительного комплекса исследовательской установки «СИЛА»;
- проверки частей прикладного программного обеспечения для системы сбора и обработки информации;
- создание конфигурационной базы данных.

3.3. Технические характеристики прототипов и экспериментальных образцов элементов системы управления

### 3.3.1. Прототип системы ВЧ синхронизации ускорительно-накопительного комплекса исследовательской установки «СИЛА»

Прототип системы ВЧ синхронизации ускорительно-накопительного комплекса исследовательской установки «СИЛА» (далее - прототип системы ВЧ синхронизации) включает в себя оборудование, указанное в п. 3.1 настоящего технического задания, скомпонованное в телекоммуникационную стойку и укомплектованное коммуникационным и электротехническим оборудованием.

Структурная схема прототипа системы ВЧ синхронизации представлена на рис. 1.

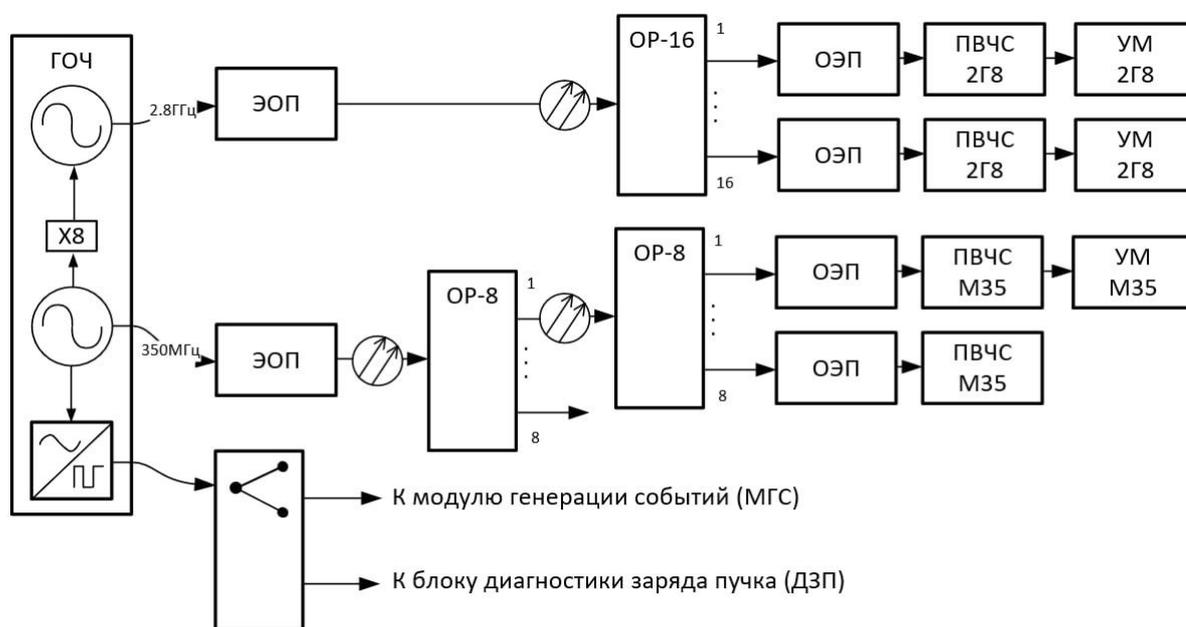


Рисунок 1. Структурная схема прототипа системы ВЧ синхронизации

3.3.1.1. Наименование компонентов необходимо приводить, используя принципы, указанные в табл. 1.

Таблица 1. Принцип наименования устройств

Наименование	XXX	-	XX	-	X	- X
--------------	-----	---	----	---	---	-----

ГОЧ Генератор опорной частоты	Номиналь- ная частота, Гц		Максималь- ная мощность опорного генератора, дБмВт		Количество каналов	Исполнение (ВЧ системы) П - прототип Э - эксперимен- тальный образец; М - мелко- серийный образец
ЭОП Электро- оптический преобразователь	Номиналь- ная длина волны, 320 - 1320нм,		Номинальная мощность оптического излучения, дБмВт		-	Исполнение П - прототип Э - эксперимен- тальный образец; М - мелко- серийный образец
ОЭП Опто- электрический преобразователь	Номиналь- ная длина волны, 550 - 1550нм		Номинальная мощность оптического сигнала на входе, дБмВт		Номиналь- ная мощность ВЧ сигнала на выходе, дБмВт	Исполнение П - прототип Э - эксперимен- тальный образец; М - мелко- серийный образец
ОР - разветвитель оптического сигнала	Централь- ная частота М35 - 350 МГц, 2Г8 - 2800 МГц		-		Коэф. разветвления х.у, где х - количество входов, у - количество выходов	Исполнение П - прототип Э - эксперимен- тальный образец; М - мелко- серийный образец
ПВЧС - Блок подготовки ВЧ сигнала	Централь- ная частота М35 - 350 МГц, 2Г8 - 2800 МГц		Номинальная мощность сигнала на выходе, дБмВт		-	Исполнение П - прототип Э - эксперимен- тальный образец; М - мелко- серийный образец
УМ - Усилитель мощности ВЧ сигнала	Централь- ная частота 2Г8 - 2800 МГц М35 - 350 МГц		Номинальная мощность сигнала на входе, дБмВт		Коэф. усиления, дБ	Исполнение П - прототип Э - эксперимен- тальный образец; М - мелко- серийный образец

### 3.3.1.2. Количество разрабатываемых компонентов прототипа системы ВЧ синхронизации и их наименование:

- ГОЧ350-15-3-П - генератор опорной частоты (1 шт.);
- ЭОП320-5-П - электро-оптический преобразователь (4 шт.);
- ОЭП550-20-10-П - опто-электрический преобразователь (4 шт.);
- ОР-2Г8-1.16-П - разветвитель оптического сигнала частотой 2800 МГц (2 шт.);
- ОР-М35-1.8-П - разветвитель оптического сигнала частотой 350 МГц (3 шт.);

- ПВЧС-2Г8-П - блок подготовки ВЧ-сигнала частотой 2800 МГц (2 шт.);
- ПВЧС-М35-П - блок подготовки ВЧ-сигнала частотой 350 МГц (2 шт.);
- УМ-2Г8-60-50-П - усилитель мощности на частоту 2800 МГц (2 шт.);
- УМ-М35-10-50-П - усилитель мощности на частоту 350 МГц (1 шт.).

### 3.3.1.3. Требования к генератору опорной частоты ГОЧ350-15-3-П

3.3.1.3.1. ГОЧ350-15-3-П предназначен для формирования сигналов опорной частоты для ВЧ-системы, системы синхронизации и блоков диагностики ускорительно-накопительного комплекса исследовательской установки «СИЛА».

3.3.1.3.2. В состав ГОЧ350-15-3-П должны входить функциональные модули:

- модуль генерации опорного тактового сигнала прямоугольной формы (меандр) - 1 шт.;
- модуль генерации опорного аналогового сигнала частотой 350 МГц - 1 шт.;
- модуль генерации опорного аналогового сигнала частотой 2800 МГц - 1 шт.;
- модуль внешнего интерфейса - 1 шт.

3.3.1.3.3. Общие требования к ГОЧ350-15-3-П представлены в табл. 2.

Таблица 2. Технические характеристики ГОЧ350-15-3-П

№	Параметр	Значение
1	Напряжение питания промышленной частоты номинальное, В	220
2	Количество каналов, не менее	3
3	Максимальная выходная мощность в каждом канале, дБВт	15
4	Номинальная частота выходного напряжения, $f_{ном}$ , МГц / форма сигнала	
4.1	Канал 1	350 / меандр
4.2	Канал 2	350 / синусоида
4.3	Канал 3	2800 / синусоида
5	Регулировка частоты:	
5.1	Верхняя граница	$f_{ном} + 500$ кГц
5.2	Нижняя граница	$f_{ном} - 600$ кГц
6	Уровень гармонических составляющих	
6.1	Канал 1	Не предъявляется
6.2	Канал 2	Не более -30 дБн
6.3	Канал 3	Не более -30 дБн
7	Уровень джиттера	Не более 5 пс
8	Внешний интерфейс:	
8.1	Канал 1	Дифференциальный выход LVDS, разъем SMA
8.2	Канал 2	Стандартный тракт 50 Ом, разъем SMA
8.3	Канал 3	Стандартный тракт 50 Ом, разъем SMA
9.	Точность термостабилизации не более, °С	0,5

### 3.3.1.3.4. Требования к модулю внешнего интерфейса

#### 3.3.1.3.4.1. Требования к модулю внешнего интерфейса

Модуль внешнего интерфейса должен обеспечивать взаимодействие ГОЧ350-15-3-П с СИЛА-САУ. Интерфейсы модуля:

- цифровой интерфейс Ethernet с возможностью установки индивидуального IP адреса;
- дискретный интерфейс;

#### 3.3.1.3.4.2. Функции цифрового интерфейса:

- передача команд управления режимами работы в ГОЧ350-15-3-П ;
- передача целевых параметров работы ГОЧ350-15-3-П по частоте и фазе выходных каналов;
- передача текущей информации от ГОЧ350-15-3-П в СИЛА-САУ;
- передача сигналов статуса «РАБОТА/АВАРИЯ» ГОЧ350-15-3-П в СИЛА-САУ;
- передача служебной информации, определенной протоколом взаимодействия оборудования СИЛА-САУ.

#### 3.3.1.3.4.3. Функции дискретного интерфейса:

- включение/выключение ГОЧ350-15-3-П по сигналу от СИЛА-САУ в штатном режиме работы;
- аварийное отключение генератора по сигналу от СИЛА-САУ;
- формирование квитанции «ГОТОВ» от ГОЧ350-15-3-П в СИЛА САУ.

#### 3.3.1.3.5. Функциональные требования

ГОЧ должен обеспечивать формирование сигналов опорной частоты с возможностью их передачи к преобразователям ЭОП320-5-П и устройствам системы СИЛА-САУ.

#### 3.3.1.4. Требования к ЭОП320-5-П

3.3.1.4.1. ЭОП320-5-П - предназначен для преобразования опорного ВЧ-сигнала, представленного в электрической форме, в оптический сигнал с длиной волны 1320 нм.

3.3.1.4.2. В состав ЭОП320-5-П должны входить:

- модуль электрооптического преобразователя - 1 шт.;
- модуль внешнего интерфейса - 1 шт.

3.3.1.4.3. Основные технические характеристики ЭОП320-5-П приведены в табл. 3.

Таблица 3. Технические характеристики ЭОП320-5-П

№	Параметр	Значение
1	Напряжение питания, В	24
2	Номинальная выходная мощность, дБмВт	5
3	Номинальная мощность радиосигнала на входе, дБмВт	10
4	Полоса пропускания не менее, ГГц	3
5	Волоконно-оптический интерфейс	FC/APC
6	Интерфейс радиотракта	50 Ом, SMA
7	Точность термостабилизации не более, °С	0,5

#### 3.3.1.4.4. Требования к модулю внешнего интерфейса устройства.

Модуль внешнего интерфейса должен обеспечивать взаимодействие ЭОП320-5-П с СИЛА-САУ. Интерфейс модуля:

- дискретный интерфейс;

#### 3.3.1.4.4.1. Функции дискретного интерфейса

- включение/выключение ЭОП320-5-П по сигналу от СИЛА-САУ в штатном режиме работы;
- формирование квитанции «РАБОТА» от ЭОП320-5-П в СИЛА-САУ.

### 3.3.1.5. Требования к ОЭП550-20-10-П

3.3.1.5.1. ОЭП550-20-10-П - предназначен для приема оптического сигнала опорной частоты и его преобразования в электрическую форму.

3.3.1.5.2. В состав ОЭП550-20-10-П должны входить:

- модуль оптоэлектрического преобразователя - 1 шт.;
- модуль внешнего интерфейса - 1 шт.

3.3.1.5.3. Основные технические характеристики ОЭП550-20-10-П приведены в таблице 4.

Таблица 4. Технические характеристики ОЭП550-20-10-П

№	Параметр	Значение
1	Напряжение питания, В	24
2	Номинальная выходная мощность, дБмВт	10
3	Номинальная мощность оптического сигнала на входе, дБмВт	10
4	Полоса пропускания не менее, ГГц	3
5	Волоконно-оптический интерфейс	FC/APC
6	Интерфейс радиотракта	50 Ом, SMA
7	Точность термостабилизации не более, °С	0,5

### 3.3.1.5.4. Требования к модулю внешнего интерфейса устройства

Модуль внешнего интерфейса должен обеспечивать взаимодействие ОЭП550-20-10-П с СИЛА-САУ. В составе модуля должен быть:

- дискретный интерфейс.

#### 3.3.1.5.4.1. Функции дискретного интерфейса:

- включение/выключение ОЭП550-20-10-П по сигналу от СИЛА-САУ в штатном режиме работы;
- формирование квитанции «РАБОТА» от ОЭП550-20-10-П в СИЛА-САУ.

### 3.3.1.6. Требования к ОР-2Г8-1.16-П

3.3.1.6.1. ОР-2Г8-1.16-П - предназначен для разветвления входного оптического сигнала опорной частоты 2800МГц на 16 оптических выходных сигналов с равномерным делением мощности сигнала на одномодовом оптическом волокне.

3.3.1.6.2. В состав ОР-2Г8-1.16-П должны входить:

- муфта оптическая с разъемами - 1 шт.;
- модуль разветвителя оптического сигнала - 1 шт.

3.3.1.6.3. Основные технические характеристики ОР-2Г8-1.16-П приведены в таблице 5.

Таблица 5. Технические характеристики ОР-2Г8-1.16-П

№	Параметр	Значение
1	Коэффициент разветвления	1x16

2	Диаметр оптического кабеля, мм	3,0
3	Метод разветвления	планарный, PLC
4	Полоса пропускания не менее, ГГц	3
5	Волоконно-оптический интерфейс	FC/APC

### 3.3.1.7. Требования к ОР-М35-1.8-П

3.3.1.7.1. ОР-М35-1.8-П - предназначен для разветвления входного оптического сигнала опорной частоты 350 МГц на 8 оптических выходных сигналов с равномерным делением мощности сигнала на одномодовом оптическом волокне.

3.3.1.7.2. В состав ОР-М35-1.8-П должны входить:

- муфта оптическая с разъемами - 1 шт.
- модуль разветвителя оптического сигнала - 1 шт.

3.3.1.7.3. Основные технические характеристики ОР-М35-1.8-П приведены в табл. 6.

Таблица 6. Технические характеристики ОР-М35-1.8-П

№	Параметр	Значение
1	Коэффициент разветвления	1x8
2	Диаметр оптического кабеля, мм	3,0
3	Метод разветвления	планарный PLC
4	Полоса пропускания не менее, ГГц	3
5	Волоконно-оптический интерфейс	FC/APC

### 3.3.1.8. Требования к ПВЧС-2Г8-П

3.3.1.8.1. ПВЧС-2Г8-П - предназначен для коррекции опорного ВЧ-сигнала низкой мощности частотой 2800 МГц, подаваемого в резонатор регулярной секции линейного ускорителя, для обеспечения его эффективного возбуждения и согласования с движением пучка заряженных частиц.

Коррекция опорного ВЧ-сигнала в устройстве ПВЧС-2Г8-П выполняется на основе сигнала обратной связи, поступающего с резонатора, и параметров фазового сдвига, поступающих по цифровому интерфейсу от СИЛА-САУ.

3.3.1.8.2. В состав ПВЧС-2Г8-П должны входить:

- модуль локального опорного генератора - 1 шт.;
- модуль понижения частоты - 1 шт.;
- модуль квадратурного векторного модулятора - 1 шт.;
- модуль прямого цифрового синтеза частот - 1 шт.;
- модуль внешнего интерфейса - 1 шт.

3.3.1.8.3. Основные технические характеристики ПВЧС-2Г8-П приведены в табл. 7.

Таблица 7. Технические характеристики ПВЧС-2Г8-П

№	Параметр	Значение
1	Напряжение питания, В	220
2	Номинальная мощность на входе устройства подготовки ВЧ-сигнала, дБмВт	5
3	Номинальная мощность на выходе устройства подготовки ВЧ-сигнала, дБмВт	10

4	Частота сигнала на входе устройства подготовки ВЧ-сигнала, МГц	2800
5	Частота гетеродина, МГц	2775
6	Интерфейс радиотракта	50 Ом, SMA

#### 3.3.1.8.4. Требования к модулю внешнего интерфейса

Модуль внешнего интерфейса должен обеспечивать взаимодействие ПВЧС-2Г8-П с СИЛА-САУ. Интерфейсы модуля:

- цифровой интерфейс Ethernet с возможностью установки индивидуального IP адреса;
- интерфейс внешней синхронизации;
- дискретный интерфейс.

##### 3.3.1.8.4.1. Функции цифрового интерфейса:

- передача команд управления режимами работы в ПВЧС-2Г8-П;
- передача целевых параметров работы ПВЧС-2Г8-П по частоте, фазе и амплитуде;
- передача текущей информации от ПВЧС-2Г8-П в СИЛА-САУ;
- передача сигналов статуса «РАБОТА/ АВАРИЯ» ПВЧС-2Г8-П в СИЛА-САУ;
- передача служебной информации, определенной протоколом взаимодействия оборудования СИЛА-САУ.

##### 3.3.1.8.4.2. Функции интерфейса внешней синхронизации:

- прием от системы синхронизации СИЛА-САУ по одномодовой ВОЛС последовательного кода событий через оптический порт SFP или SFP+, формат представления кодов событий устанавливается системой синхронизации;
- декодирование кодов событий и передача синхронизирующей информации в модуль прямого цифрового синтеза частот.

##### 3.3.1.8.4.3. Функции дискретного интерфейса:

- включение/выключение ПВЧС-2Г8-П по сигналу от СИЛА-САУ в штатном режиме работы;
- аварийное отключение устройства по сигналу от СИЛА-САУ;
- формирование квитанции «РАБОТА» от ПВЧС-2Г8-П в СИЛА-САУ.

#### 3.3.1.9. Требования к ПВЧС-М35-П

3.3.1.9.1. ПВЧС-М35-П - предназначен для коррекции опорного ВЧ-сигнала низкой мощности частотой 350 МГц, подаваемого на вход твердотельного усилителя мощности, для обеспечения его эффективного возбуждения и согласования ВЧ-волны с движением пучка заряженных частиц по накопительному кольцу ускорителя.

Коррекции опорного ВЧ-сигнала в устройстве ПВЧС-М35-П выполняется на основе сигнала обратной связи, поступающего с резонатора, и параметров фазового сдвига, поступающих по цифровому интерфейсу от СИЛА-САУ.

##### 3.3.1.9.2. В состав ПВЧС-М35-П должны входить:

- модуль локального опорного генератора - 1 шт.;
- модуль понижения частоты - 1 шт.;
- модуль квадратурного векторного модулятора - 1 шт.;
- модуль прямого цифрового синтеза частот - 1 шт.;
- модуль внешнего интерфейса - 1 шт.

3.3.1.9.3. Основные технические характеристики ПВЧС-М35-П приведены в табл. 8.

Таблица 8. Технические характеристики ПВЧС-М35-П

№	Параметр	Значение
1	Напряжение питания, В	220
2	Номинальная мощность на входе устройства подготовки ВЧ-сигнала, дБмВт	5
3	Номинальная мощность на выходе устройства подготовки ВЧ-сигнала, дБмВт	10
4	Частота сигнала на входе устройства подготовки ВЧ-сигнала, МГц	350
5	Частота гетеродина, МГц	375
6	Интерфейс радиотракта	50 Ом, SMA

#### 3.3.1.9.4. Требования к модулю внешнего интерфейса устройства

Модуль внешнего интерфейса должен обеспечивать взаимодействие ПВЧС-М35-П с СИЛА-САУ. Интерфейсы модуля:

- цифровой интерфейс Ethernet с возможностью установки индивидуального IP адреса;
- интерфейс внешней синхронизации;
- дискретный интерфейс;

##### 3.3.1.9.4.1. Функции цифрового интерфейса:

- передача команд управления режимами работы в ПВЧС-М35-П;
- передача целевых параметров работы ПВЧС-М35-П по частоте, фазе и амплитуде;
- передача текущей информации от ПВЧС-М35-П в СИЛА-САУ;
- передача сигналов статуса «РАБОТА/ АВАРИЯ» ПВЧС-М35-П в СИЛА-САУ;
- передача служебной информации, определенной протоколом взаимодействия оборудования СИЛА-САУ.

##### 3.3.1.9.4.2. Функции интерфейса внешней синхронизации:

- прием от системы синхронизации СИЛА-САУ по одномодовой ВОЛС - последовательного кода событий через оптический порт SFP или SFP+, формат представления кодов событий устанавливается системой синхронизации;
- декодирование кодов событий и передача синхронизирующей информации в модуль прямого цифрового синтеза частот.

##### 3.3.1.9.4.3. Функции дискретного интерфейса:

- включение/выключение ПВЧС-М35-П по сигналу от СИЛА-САУ в штатном режиме работы;
- аварийное отключение устройства по сигналу от СИЛА-САУ;
- формирование квитанции «РАБОТА» от ПВЧС-М35-П в СИЛА-САУ.

#### 3.3.1.10. Требования к УМ-2Г8-60-50-П

3.3.1.10.1. УМ-2Г8-60-50-П - предназначен для усиления опорного сигнала частотой 2800 МГц по мощности перед его подачей на входной резонатор клистрона.

3.3.1.10.2. В состав УМ-2Г8-60-50-П должны входить:

- модуль предусилителя - 1 шт.;
- модуль внешнего интерфейса - 1 шт.

3.3.1.10.3. Основные технические характеристики УМ-2Г8-60-50-П приведены в табл. 9.

Таблица 9. Технические характеристики УМ-2Г8-60-50-П

№	Параметр	Значение
1	Напряжение питания, В	220
2	Частота питающего напряжения, Гц	50
3	Номинальная мощность на входе модуля усилителя, дБмВт	10
4	Коэффициент усиления, дБ	53
5	Номинальная мощность на выходе устройства, не менее, дБмВт	63
6	Рабочая частота, МГц	350
7	Полоса рабочих частот не менее, МГц	25
8	Интерфейс радиотракта	50 Ом, SMA
9	Коэффициент стоячей волны по напряжению (КСВН)	1,35
10	Наличие защиты от отраженной ВЧ-мощности	имеется, с помощью встроенных циркуляторов
11	Коэффициент гармонических искажений	не предъявляется

3.3.1.10.4. Требования к модулю внешнего интерфейса устройства

Модуль внешнего интерфейса должен обеспечивать взаимодействие УМ-2Г8-60-50-П с СИЛА-САУ. Интерфейс модуля:

- дискретный интерфейс;

3.3.1.10.4.1. Функции дискретного интерфейса:

- включение/выключение УМ-2Г8-60-50-П по сигналу от СИЛА-САУ в штатном режиме работы;

- формирование квитанции «РАБОТА» от УМ-2Г8-60-50-П в СИЛА-САУ.

3.3.1.11. Требования к УМ-М35-10-50-П

3.3.1.11.1. УМ-М35-10-50-П - предназначен для усиления опорного сигнала частотой 350 МГц по мощности перед его подачей на резонатор накопительного кольца ускорителя.

3.3.1.11.2. В состав УМ-М35-10-50-П должны входить:

- модуль усилителя мощности - 2 шт.;

- модуль сумматора - 1 шт.;

- модуль внешнего интерфейса - 1 шт.

3.3.1.11.3. Основные технические характеристики УМ-М35-10-50-П приведены в табл. 10.

Таблица 10. Технические характеристики УМ-М35-10-50-П

№	Параметр	Значение
1	Напряжение питания, В	220
2	Частота питающего напряжения, Гц	50

3	Номинальная мощность на входе модуля усилителя, дБмВт	10
4	Коэффициент усиления, дБ	53
5	Номинальная мощность на выходе устройства, не менее, дБмВт	63
6	Рабочая частота, МГц	350
7	Полоса рабочих частот не менее, МГц	25
8	Интерфейс радиотракта	50 Ом, SMA
9	Коэффициент стоячей волны по напряжению	1,35
10	Наличие защиты от отраженной ВЧ-мощности	имеется, с помощью встроенных циркуляторов
11	Коэффициент гармонических искажений	не предъявляется

#### 3.3.1.11.4. Требования к модулю внешнего интерфейса устройства

Модуль внешнего интерфейса должен обеспечивать взаимодействие УМ-М35-10-50-П с СИЛА-САУ. Интерфейс модуля:

- дискретный интерфейс;

##### 3.3.1.11.4.1. Функции дискретного интерфейса:

- включение/выключение УМ-М35-10-50-П по сигналу от СИЛА-САУ в штатном режиме работы;

- формирование квитанции «РАБОТА» от УМ-М35-10-50-П в СИЛА-САУ.

### 3.3.2. Прототип системы технологической синхронизации ускорительно-накопительного комплекса исследовательской установки «СИЛА»

3.3.2.1. Прототип системы технологической синхронизации ускорительно-накопительного комплекса исследовательской установки «СИЛА» (далее – прототип системы технологической синхронизации) включает 2 сегмента сети:

- низкоскоростной сегмент сети;

- высокоскоростной сегмент сети.

В состав низкоскоростного сегмента сети должны входить следующие типы устройств:

- головное устройство низкоскоростного сегмента технологической системы синхронизации (ГУТСС);

- распределитель-коммутатор технологической системы синхронизации (РКТСС);

- оконечный модуль технологической системы синхронизации (ОМТСС);

- оконечное устройство технологической системы синхронизации (ОУТСС);

-модуль адаптации сетей (МАС) - специальный адаптер для синхронизации низкоскоростного и высокоскоростного сегмента сетей.

В состав высокоскоростного сегмента сети должны входить следующие типы устройств:

- модуль генерации событий (МГС);

- модуль оконечного устройства (МОУ).

Структурная схема прототипа системы технологической синхронизации представлена на рис. 2.

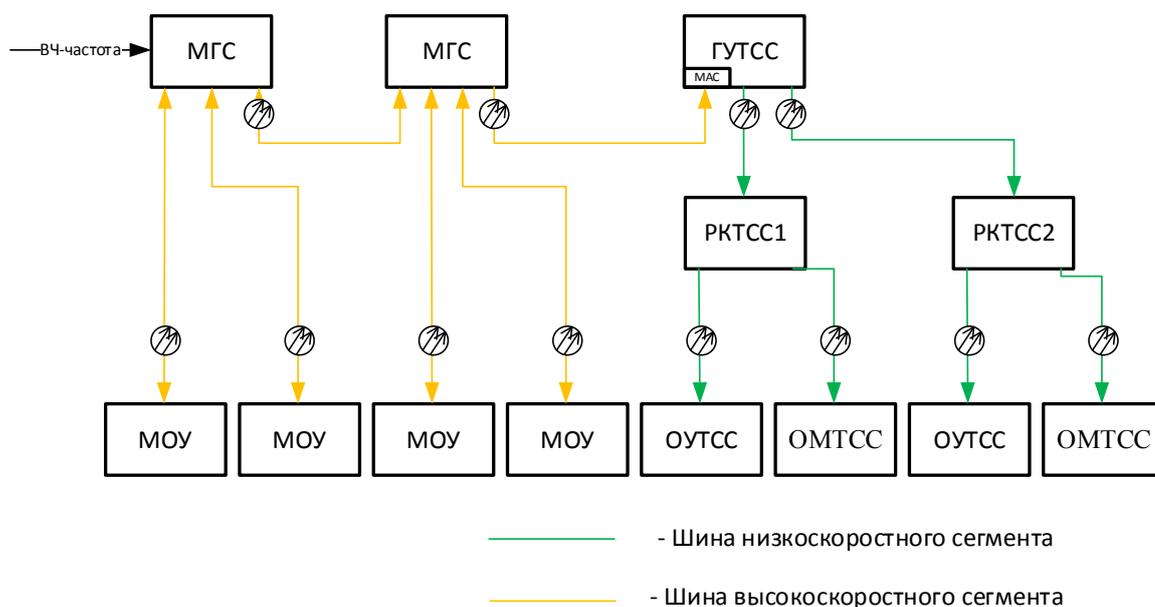


Рисунок 2. Структурная схема прототипа системы технологической синхронизации

Прототип системы технологической синхронизации включает в себя оборудование, указанное в п. 3.1 настоящего технического задания, скомпонованное в телекоммуникационную стойку и укомплектованное коммуникационным и электротехническим оборудованием.

3.3.2.2. Общие технические требования к синхронизации между устройствами синхронизационной сети представлены в табл. 11.

Таблица 11. Основные требования к синхронизации между устройствами

Параметр	Значение
Синхронизация частоты между устройствами	Да
Измерение задержки от устройства к устройству	Да
Максимальная длина оптического кабеля между устройствами	Не менее 500 м
Погрешность измерения задержки	Не более периода опорной частоты

3.3.2.3. Требования к ГУТСС

3.3.2.3.1. ГУТСС предназначено для обеспечения следующих функций:

- генерация тактового синхросигнала с частотой до 43 МГц;
- генерация закодированных команд-событий, позволяющих восстановить данные и тактовую частоту в точке приёма;
- поддержка фазы тактового сигнала в оконечных устройствах с джиттером не хуже, чем 100 пс;
- привязки команд глобального сброса к реальной шкале времени (UTC);
- автоматического учета задержки в оптоволоконных соединениях между головным и оконечными устройствами;

- работы системы синхронизации (СС) по расписанию, вырабатывая триггерные и частотные сигналы для элементов СС по таблице времен запусков;
- обмен данными с системой управления верхнего уровня;
- генерация событий по командам от системы управления верхнего уровня;

3.3.2.3.2. ГУТСС должно быть связано с оборудованием общей системы управления ускорительным комплексом по интерфейсу Ethernet для настройки, конфигурирования, управления и диагностики. Также должно иметь в своём составе интерфейс взаимодействия с высокоскоростным сегментом синхронизации на основе технологии MRF на уровне приёма и декодирования MRF-событий. Основные технические характеристики ГУТСС приведены в таблице 12.

Таблица 12. Основные технические характеристики ГУТСС

Параметр	Значение
Интерфейс связи между блоком и системой управления	Ethernet
Тип порта	100/1000BASE-TX* или 100/1000BASE-FX*
Протокол обмена с системой управления	ModbusTCP/DDS
Среда передачи пакетов синхронизации	Оптоволоконный кабель
Протокол связи между блоками синхронизации	FPD-LINK II *
Абсолютная задержка между входом данных сериализатора и выходом данных с десериализатора, не более	Не более 300 нс
Тип оптоволоконного кабеля	Одномодовый, одноволоконный
Тип SFP-модуля	Двухдиапазонный, дуплексный
Максимальная тактовая частота	43 МГц
Слотов расширения	Не менее 3
Количество внешних входов	Не менее 4
Разъем подключения электропитания	C14
Напряжение электропитания, В	От 195 до 253 В
Частота сети электропитания, Гц	От 49 до 51
Степень защиты корпуса изделия от проникновения посторонних тел и воды	не менее IP 20 по ГОСТ 14254.
Форм-фактор*	19"
Высота	Не более 2U
Глубина, не более мм	400 мм
Точность измерения задержки до оконечного устройства	не более 1 нс
Головное устройство предназначено для эксплуатации в следующих условиях окружающей среды:	
температура воздуха	от плюс 10 °С до плюс 35 °С
относительная влажность воздуха	от 45 % до 90 %

атмосферное давление	от 86 до 106 кПа (от 645 до 795 мм рт.ст.).
Требования к стойкости к механическим воздействиям и сейсмостойкости	не предъявляются
По способу защиты человека от поражения электрическим током	должно удовлетворять требованиям класса 01 по ГОСТ 12.2.007.0-75. Система стандартов безопасности труда. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности.

\* - требования уточняются в процессе разработки конструкторской документации

3.3.2.3.3. Рекомендуемый состав органов управления ГУТСС представлен в табл. 13.

Таблица 13. Рекомендуемый состав органов управления ГУТСС

Наименование	№	Гравировка органа управления	Примечание
Выключатель питания	1	ON/OFF	ON - питание включено; OFF - питание выключено
Сервисный разъем программирования	2	-	
Порт Ethernet	3	LAN	
Блок индикации питания и связи с ПК	4	PWR	Индикация питания устройства
		MB1	Индикация обмена данными по протоколу Modbus между устройством и ПК
		MB2	Индикация обмена данными по протоколу Modbus между устройствами по оптическому каналу для передачи служебной информации
		CYCLE	Индикация ускорительного цикла
Выход источника единой синхронной частоты системы синхронизации с индикацией	5	CLK	
Разъем SFP-модуля связи с распределителем-коммутатором системы синхронизации	6	SYNC	Нисходящий порт DownLink
Блок индикации		DES LOCK	Индикация текущего состояния блока захвата основной тактовой частоты системы синхронизации: зеленый - захват частоты есть; не горит - захвата частоты нет
		OSC LOCK	Индикация текущего состояния блока захвата частоты системы уменьшения джиттера тактового сигнала: зеленый - захват частоты есть; не горит - захвата частоты нет

		Rx LOS	Индикация текущего состояния приемника пакетов синхронизации: не горит - приём проходит в штатном режиме; красный - имеются проблемы с приемом пакетов
		Tx FAULT	Индикация «текущего состояния передатчика пакетов синхронизации: не горит - передача проходит в штатном режиме; красный - имеются проблемы с передачей пакетов
Разъем SFP-модуля связи с системой раздачи ускоряющей частоты	7	RF IN	
Блок индикации		RF	Индикация входного ВЧ сигнала
		Tx	Индикация наличия на передатчике SFR RF IN эмулированного ВЧ сигнала 1 МГц
		Rx LOS	Индикация текущего состояния приемника пакетов синхронизации: не горит - приём проходит в штатном режиме; красный - имеются проблемы с приемом пакетов
		Tx FAULT	Индикация «текущего состояния передатчика пакетов синхронизации: не горит - передача проходит в штатном режиме; красный - имеются проблемы с передачей пакетов
Разъем SFP-модуля связи с распределителем-коммутатором 2 системы синхронизации	8	SYNC2	Нисходящий порт DownLink
Блок индикации		DES LOCK	Индикация текущего состояния блока захвата основной тактовой частоты системы синхронизации: зеленый - захват частоты есть; не горит - захвата частоты нет
		OSC LOCK	Индикация текущего состояния блока захвата частоты системы уменьшения джиттера тактового сигнала: зеленый - захват частоты есть; не горит - захвата частоты нет
		Rx LOS	Индикация текущего состояния приемника пакетов синхронизации: не горит - приём проходит в штатном режиме; красный - имеются проблемы с приемом пакетов
	Tx FAULT	Индикация «текущего состояния передатчика пакетов синхронизации: не горит - передача проходит в штатном режиме; красный - имеются проблемы с передачей пакетов	
Интерфейсный модуль	9	A	
Светодиодные индикаторы выходного канала	10	-	
Разъемы выходного	11	1	Высокочастотные разъемы типа BNC

канала	2	
	3	
	4	

### 3.3.2.4. Требования к МАС

3.3.2.4.1. МАС разрабатывается в виде вставного устройства в блоки синхронизации с частотой работы ГУТСС. Модуль принимает синхронизации посылки от устройств высокоскоростного сегмента сети (модуля генерации событий) и формирует электрические импульсы, которые передаются в блок синхронизации с частотой работы ГУТСС.

3.3.2.4.2. Основные технические характеристики МАС приведены в табл. 14.

Таблица 14. Основные технические характеристики МАС

Параметр	Значение
<b>Оптические интерфейсы</b>	
Кол-во оптических каналов	1
Поддерживаемая частота оптического трансивера	не менее 2,5 Гбит/с
<b>Электрический интерфейс к модулям синхронизации ГУТСС</b>	
Кол-во выходов	*
Тип входного сигнала	*
Максимальная длительность импульса	*
Минимальная длительность импульса	*
Разрешение длительности импульса	*
Продолжительность фронта нарастания	*
Джиттер выходного сигнала	не более 200пс
<b>Общие характеристики</b>	
Форм-фактор	Вставной модуль**
Разъем для сопряжения с модулем синхронизации 38МГц	Краевой разъем PCI Express x16*

\* Требования к электрическому интерфейсу между вставным модулем и ГУТСС разрабатываются на стадии подготовки эскизной конструкторской документации, предварительно предполагается 8 дифференциальных пар LVDS, выведенных на разъем типа PCI Express.

\*\* Требования к форм-фактору вставного модуля разрабатываются на стадии подготовки эскизной конструкторской документации.

### 3.3.2.5. Требования к МГС

3.3.2.5.1. МГС обеспечивает генерацию синхронизационных посылок (событий) и раздачу несущей частоты, распространяющихся по системе технологической синхронизации по оптическим каналам. Последовательность событий, составляющая сценарий работы устройств (локальных систем) исследовательской установки «СИЛА», задается в виде конфигурируемой таблицы событий в модуле. Несущая частота синхронизируется с внешним входом опорной частоты. К модулю генерации событий можно подключить до 7 ведомых устройств (МГС или других приемников) и 1 ведущее, выстраивая таким образом древовидную иерархию.

Также МГС должен обеспечивать генерацию 4 дискретных сигналов (выходные триггеры) с привязкой к внешнему входу опорной частоты и с регулируемыми задержками.

Для подключения более высокой частоты опорной частоты внутри МГС должен быть аппаратный и/или программный делитель для приведения к максимальной частоте МГС.

МГС должен иметь 1 вход внешних триггеров для его дальнейшего распространения по сети синхронизации.

3.3.2.5.2. Основные технические характеристики МГС приведены в табл. 15.

Таблица 15. Основные технические характеристики МГС

Параметр	Значение
<b>Оптические интерфейсы синхронизации</b>	
Кол-во оптических каналов	не менее 8
Поддерживаемая частота оптического трансивера	не менее 2,5 Гбит/с
<b>Вход опорной частоты</b>	
Кол-во входов	не менее 1
Тип входного сигнала	LVTTL*
Входной импеданс	50 Ом*
Диапазон частот	Не более 125 МГц
Тип разъёма	LEMO*
<b>Входы внешних триггеров</b>	
Кол-во входов	не менее 1
Тип входного сигнала	LVTTL
Входной импеданс	50 Ом
Тип разъёма	LEMO
<b>Выходные триггеры</b>	
Кол-во выходов	не менее 1
Тип выходного сигнала	оптический
Шаг настройки задержки	Не более 50, пс
Джиттер	Не более 100, пс
<b>Общие характеристики</b>	
Интерфейс связи между блоком и системой управления	Ethernet
Тип порта	100/1000BASE-TX* или 100/1000BASE-FX*
Протокол обмена с системой управления	ModbusTCP/DDS
Разъем подключения электропитания	C14
Напряжение электропитания	от 195 до 253 В
Частота сети электропитания	от 49 до 51Гц
Степень защиты корпуса изделия от проникновения посторонних тел и воды	не менее IP 20 по ГОСТ 14254-2015. Степени защиты, обеспечиваемые оболочками (Код IP)
Форм-фактор*	19”
Высота	не более 4U
Глубина	не более 400 мм

\* - требования могут быть уточнены в процессе разработки конструкторской документации.

### 3.3.2.6. Требования к МОУ

3.3.2.6.1. МОУ принимает посылки с событиями от МГС и формирует особо ответственные импульсные сигналы на отдельных выходах для синхронизации работы быстрых локальных систем.

3.3.2.6.2. Основные технические характеристики МОУ приведены в таблице 16.

Таблица 16. Основные технические характеристики МОУ

Параметр	Значение
Оптические интерфейсы	
Кол-во оптических каналов синхронизации	1
Поддерживаемая частота оптического трансивера	не менее 2,5 Гбит/с
Электрические выходы	
Максимальная частота генерации сигнала	не более 125 МГц*
Кол-во выходов	16
Тип входного сигнала	LVTTL*
Максимальная длительность импульса	не менее 8 нс
Минимальная длительность импульса	не более периода опорной частоты
Разрешение длительности импульса	не более периода опорной частоты
Продолжительность фронта нарастания	не более 1нс
Джиттер выходного сигнала	не более 200пс
Тип разъёма	LEMO
Общие характеристики	
Интерфейс связи между блоком и системой управления	Ethernet
Тип порта	100/1000BASE-TX* или 100/1000BASE-AX*
Протокол обмена с системой управления	ModbusTCP/DDS
Разъем подключения электропитания	C14
Напряжение электропитания	от 195 до 253 В
Частота сети электропитания	от 49 до 51Гц
Степень защиты корпуса изделия от проникновения посторонних тел и воды	не менее IP 20 по ГОСТ 14254-2015.
Форм-фактор*	19”
Высота	не более 4U
Глубина	не более 400 мм

\* Требования могут быть уточнены в процессе разработки конструкторской документации.

### 3.3.2.7. Требования к ОУТСС

3.3.2.7.1. ОУТСС является комплектующим изделием технологической системы синхронизации исследовательской установки «СИЛА», предназначенной для обеспечения передачи сигналов синхронизации системам экспериментального комплекса. ОУТСС является выходным звеном, сопряженным с потребителем синхронизирующих сигналов.

3.3.2.7.2. ОУТСС должен являться приемником стартовых импульсов и программируемым таймером и передавать на выходные каналы любой из сигналов, распространяемых по оптическому интерфейсу сети синхронизации. Модуль должен иметь встроенную систему диагностики критических параметров SFP-модулей.

3.3.2.7.3. Основные технические характеристики приведены в табл. 17.

Таблица 17. Основные технические характеристики ОУТСС

Параметр	Значение
Интерфейс связи между блоком и системой управления	Ethernet
Тип порта	100/1000BASE-TX* или 100/1000BASE-FX*
Протокол обмена с системой управления	ModbusTCP/DDS
Среда передачи пакетов синхронизации	Оптоволоконный кабель
Протокол связи между блоками синхронизации	FPD-LINK II *
Абсолютная задержка между входом данных сериализатора и выходом данных с десериализатора	Не более 300 нс
Тип оптоволоконного кабеля	Одномодовый, одноволоконный
Тип SFP-модуля	Двухдиапазонный, дуплексный
Максимальная тактовая частота	43 МГц
Слотов расширения	Не менее 3
Независимых выходных каналов синхронизации	Не менее 12
Разъем подключения электропитания	C14
Напряжение электропитания	От 195 до 253 В
Частота сети электропитания	От 49 до 51, Гц
Степень защиты корпуса изделия от проникновения посторонних тел и воды	не менее IP 20 по ГОСТ 14254-2015. Степени защиты, обеспечиваемые оболочками (Код IP)
Форм-фактор*	19''
Высота	Не более 2U
Глубина,	не более 400 мм
Оконечное устройство предназначено для эксплуатации в следующих условиях окружающей среды:	
температура воздуха	от плюс 10 °С до плюс 35 °С
относительная влажность воздуха	от 45 % до 90 %
атмосферное давление	от 86 до 106 кПа (от 645 до 795 мм рт.ст.).
Требования к стойкости к механическим воздействиям и сейсмостойкости	не предъявляются
По способу защиты человека от поражения электрическим током	должно удовлетворять требованиям класса 01 по ГОСТ 12.2.007.0-75.

\* Требования могут быть уточнены в процессе разработки конструкторской документации.

3.3.2.7.4. Рекомендуемый состав органов управления представлен в табл. 18.

Таблица 18. Рекомендуемый состав ОУТСС

Наименование	Позиция	Гравировка органа управления	Примечание
Выключатель питания	1	ON/OFF	ON - питание включено; OFF - питание выключено
Сервисный разъем программирования	2	-	
Порт Ethernet	3	LAN	
Блок индикации питания и связи с ПК	4	PWR	Индикация питания изделия
		MB1	Индикация обмена данными по протоколу Modbus между изделием и ПК
		MB2	Индикация обмена данными по протоколу Modbus между устройствами по оптическому каналу для передачи служебной информации
		CYCLE	Индикация ускорительного цикла
Выход источника единой синхронной частоты система синхронизации с индикацией	5	CLK	
Разъем SFP-модуля связи с распределителем-коммутатором система синхронизации	6	SYNC	Восходящий порт UpLink
Блок индикации		DES LOCK	Индикация текущего состояния блока захвата основной тактовой частоты системы синхронизации: зеленый - захват частоты есть; не горит - захвата частоты нет
		OSC LOCK	Индикация текущего состояния блока захвата частоты системы уменьшения джиттера тактового сигнала: зеленый - захват частоты есть; не горит - захвата частоты нет
		Rx LOS	Индикация текущего состояния приемника пакетов синхронизации: не горит - приём проходит в штатном режиме; красный - имеются проблемы с приемом пакетов

		Tx FAULT	Индикация текущего состояния передатчика пакетов синхронизации: не горит - передача проходит в штатном режиме; красный - имеются проблемы с передачей пакетов
Разъем SFP-модуля связи с системой раздачи ускоряющей частоты	7	RF IN	Восходящий порт UpLink
Блок индикации		RF	Индикация входного ВЧ сигнала
		Tx	Индикация наличия на передатчике SFR RF IN эмулированного ВЧ сигнала 1 МГц
		Rx LOS	Индикация текущего состояния приемника пакетов синхронизации: не горит - приём проходит в штатном режиме; красный - имеются проблемы с приемом пакетов
		Tx FAULT	Индикация «текущего состояния передатчика пакетов синхронизации: не горит - передача проходит в штатном режиме; красный - имеются проблемы с передачей пакетов
Интерфейсный модуль	8	A	
Светодиодные индикаторы выходного канала	9	-	Для каждого интерфейсного модуля
Разъемы выходного канала	10	1	Для каждого интерфейсного модуля; ВЧ разъемы типа SMA
		2	
		3	
		4	
Интерфейсный модуль	11	B	
Интерфейсный модуль	12	C	

### 3.3.2.8. Требования к ОМТСС

3.3.2.8.1. ОМТСС является комплектующим изделием технологической системы синхронизации исследовательской установки «СИЛА», предназначенной для обеспечения передачи сигналов синхронизации системам экспериментального комплекса. ОМТСС является встраиваемым в сторонние изделия (например, источник питания магнита и т.п.) модулем, выходным звеном сопряжения с потребителем синхронизирующих сигналов.

3.3.2.8.2. ОМТСС должен являться приемником стартовых импульсов и программируемым таймером и передавать на выходные каналы любой из сигналов, распространяемых по оптическому интерфейсу сети синхронизации.

3.3.2.8.3. Должен иметь вид встраиваемого одноплатного модуля фиксированного форм-фактора со стандартизированным интерфейсом связи и питания для интеграции в контроллеры устройств, разрабатываемых в рамках реализации проекта «СИЛА».

3.3.2.8.4. Основные технические характеристики ОМТСС приведены в табл. 19.

Таблица 19. Основные технические характеристики ОМТСС

Параметр	Значение
Интерфейс связи между блоком и системой управления	Ethernet
Тип порта	100/1000BASE-TX* или 100/1000BASE-FX*
Протокол обмена с системой управления	ModbusTCP/DDS
Среда передачи пакетов синхронизации	Оптоволоконный кабель
Протокол связи между блоками синхронизации	FPD-LINK II *
Абсолютная задержка между входом данных сериализатора и выходом данных с десериализатора	Не более 300 нс
Тип оптоволоконного кабеля	одномодовый, одноволоконный
Тип SFP-модуля	двухдиапазонный, дуплексный
Максимальная тактовая частота	43 МГц
Независимых выходных каналов синхронизации	не менее 4
Электро-механический стандарт подключения к плате материнского устройства	согласовывается на этапе проектирования
Протокол обмена данными с контроллером материнского устройства	определяется на этапе проектирования
Логический уровень сигналов шины обмена данными	LVC MOS, 0 - 3,3В*
Допустимые параметры электропитания	напряжением постоянного тока в диапазоне от 11,5 до 12,5 В
Степень защиты корпуса изделия от проникновения посторонних тел и воды	не менее IP 20 по ГОСТ 14254-2015. Степени защиты, обеспечиваемые оболочками (Код IP)
Габаритные размеры не более	150 x 80 мм
Масса изделия	не более 0,15 кг.
Оконечный модуль ТСС предназначен для эксплуатации в следующих условиях окружающей среды:	
температура воздуха	от плюс 10 °С до плюс 35 °С
относительная влажность воздуха	от 45 % до 90 %
атмосферное давление	от 86 до 106 кПа (от 645 до 795 мм рт.ст.).
Требования к стойкости к механическим воздействиям и сейсмостойкости	не предъявляются

\* Требования могут быть уточнены в процессе разработки конструкторской документации.

### 3.3.2.9. Требования к РКТСС

3.3.2.9.1. РКТСС предназначен для передачи сигналов синхронизации от головного устройства к оконечным устройствам - приемникам и коммутации сигналов восходящего потока.

3.3.2.9.2. РКТСС должен транслировать сигналы синхронизации на SFP-модули нисходящих портов (DownLink) от головного устройства. РКТСС должен иметь встроенную систему диагностики критических параметров SFP-модулей (температура модуля, напряжение питания модуля, мощность передатчика).

3.3.2.9.3. Основные технические характеристики РКТСС приведены в табл. 20.

Таблица 20. Основные технические характеристики РКТСС

Параметр	Значение
Интерфейс связи между блоком и системой управления	Ethernet
Тип порта	100/1000BASE-TX* или 100/1000BASE-FX*
Протокол обмена с системой управления	ModbusTCP/DDS
Среда передачи пакетов синхронизации	Оптоволоконный кабель
Протокол связи между блоками синхронизации	FPD-LINK II *
Абсолютная задержка между входом данных сериализатора и выходом данных с десериализатора.	Не более 300 нс
Тип оптоволоконного кабеля	Одномодовый, одноволоконный
Тип SFP-модуля	Двухдиапазонный, дуплексный
Максимальная тактовая частота	43 МГц
Количество выходных каналов SFP	Не менее 16
Разъем подключения электропитания	C14
Напряжение электропитания, В	От 195 до 253 В
Частота сети электропитания, Гц	От 49 до 51
Степень защиты корпуса изделия от проникновения посторонних тел и воды	не менее IP 20 по ГОСТ 14254-2015. Степени защиты, обеспечиваемые оболочками (Код IP)
Форм-фактор*	19"
Высота	Не более 2U
Глубина,	не более 400 мм
Оконечное устройство предназначено для эксплуатации в следующих условиях окружающей среды:	
температура воздуха	от плюс 10 °С до плюс 35 °С
относительная влажность воздуха	от 45 % до 90 %
атмосферное давление	от 86 до 106 кПа (от 645 до 795 мм рт.ст.)
Требования к стойкости к механическим воздействиям и сейсмостойкости	не предъявляются

Параметр	Значение
По способу защиты человека от поражения электрическим током	должно удовлетворять требованиям класса 01 по ГОСТ 12.2.007.0-75. Система стандартов безопасности труда. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности.

\* Требования могут быть уточнены в процессе разработки конструкторской документации.

3.3.2.9.4. Рекомендуемый состав органов управления представлен в табл. 21.

Таблица 21. Рекомендуемый состав органов управления РКТСС

Наименование	Позиция	Гравировка органа управления	Примечание
Выключатель питания	1	ON/OFF	ON - питание включено; OFF - питание выключено
Сервисный разъем программирования	2	-	
Порт Ethernet	3	LAN	
Блок индикации питания и связи с ПК	4	PWR	Индикация питания изделия
		MB1	Индикация обмена данными по протоколу Modbus между изделием и ПК
		MB2	Индикация обмена данными по протоколу Modbus между устройствами по оптическому каналу для передачи служебной информации
		CYCLE	Индикация ускорительного цикла
Разъем SFP-модуля связи с головным устройством СС	5	UP LINK	Восходящий порт
Блок индикации		DES LOCK	Индикация текущего состояния блока захвата основной тактовой частоты системы синхронизации: зеленый - захват частоты есть; не горит - захвата частоты нет
		OSC LOCK	Индикация текущего состояния блока захвата частоты системы уменьшения джиттера тактового сигнала: зеленый - захват частоты есть; не горит - захвата частоты нет
		Rx LOS	Индикация текущего состояния приемника пакетов синхронизации: не горит - приём проходит в штатном режиме; красный - имеются проблемы с приемом пакетов

		Tx FAULT	Индикация текущего состояния передатчика пакетов синхронизации: не горит - передача проходит в штатном режиме; красный - имеются проблемы с передачей пакетов
Блок индикации модуля DOWN LINK	6	REGEN DWN	Индикация регенерации нисходящего потока данных и частоты: зеленый - регенерация есть; не горит - регенерация отсутствует, сигнал сразу передается на выход SFP - модуля, минуя сериализацию - десериализацию и блок ФАПЧ
		REGEN UP	Индикация регенерации восходящего потока данных и частоты: зеленый - регенерация есть; не горит - регенерация отсутствует, сигнал сразу передается на выход SFP - модуля, минуя сериализацию - десериализацию и блок ФАПЧ
		DES LOCK DWN	Индикация текущего состояния блока захвата основной тактовой частоты системы синхронизации: зеленый - захват частоты есть; не горит - захвата частоты нет
		OSC LOCK DWN	Индикация текущего состояния блока захвата частоты системы уменьшения джиттера тактового сигнала: зеленый - захват частоты есть; не горит - захвата частоты нет
Модуль DOWN LINK	7	DOWN LINK	Нисходящие порты
Блок индикации разъемов SFP-модулей связи РК с оконечными устройствами 1U CC		1 - Rx SEL	Индикация состояния селектора портов восходящего направления: зеленый - порт выбран в качестве канал восходящего потока синхронизирующей последовательности; не горит - порт не выбран в качестве канал восходящего потока синхронизирующей последовательности
		2 - Tx EN	Индикация состояния передатчика порта: зеленый - передатчик включен; не горит - передатчик выключен
		3 - Rx LOS	Индикация текущего состояния приемника пакетов синхронизации: не горит - приём проходит в штатном режиме; красный - имеются проблемы с приемом пакетов

		4 - Tx FAULT	Индикация «текущего состояния передатчика пакетов синхронизации: не горит - передача проходит в штатном режиме; красный - имеются проблемы с передачей пакетов
--	--	--------------	--

### 3.3.3. Прототип системы управления магнитной системой ускорительно-накопительного комплекса исследовательской установки «СИЛА»

3.3.3.1. Прототип системы управления магнитной системой ускорительно-накопительного комплекса исследовательской установки «СИЛА» (далее - прототип системы управления магнитной системой) включает в себя оборудование, указанное в п. 4.1 настоящего технического задания, скомпонованное в телекоммуникационную стойку и укомплектованное коммуникационным, электротехническим оборудованием и силовыми шинами.

Структурная схема прототипа системы управления магнитной системой УНК исследовательской установки «СИЛА» представлена на рис. 3.

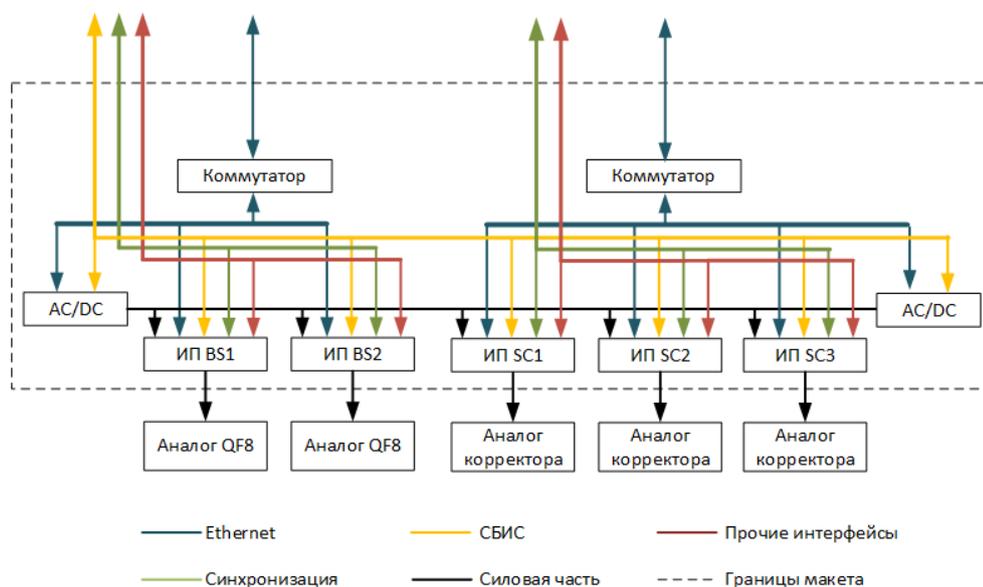


Рисунок 3. Структурная схема прототипа системы управления магнитной системой УНК исследовательской установки «СИЛА»

#### 3.3.3.2. Требования к ИП BS

3.3.3.2.1. В состав ИП BS входят функциональные модули:

- блок преобразователя напряжения (основной, резервный) - 2 шт.;
- измерительный преобразователь выходного тока - 2 шт.;
- модуль управления цифровой - 1 или 2 шт. (определяется при разработке);
- модуль внешнего интерфейса - 1 шт.

Структурная схема ИП BS показана на рисунке 4.

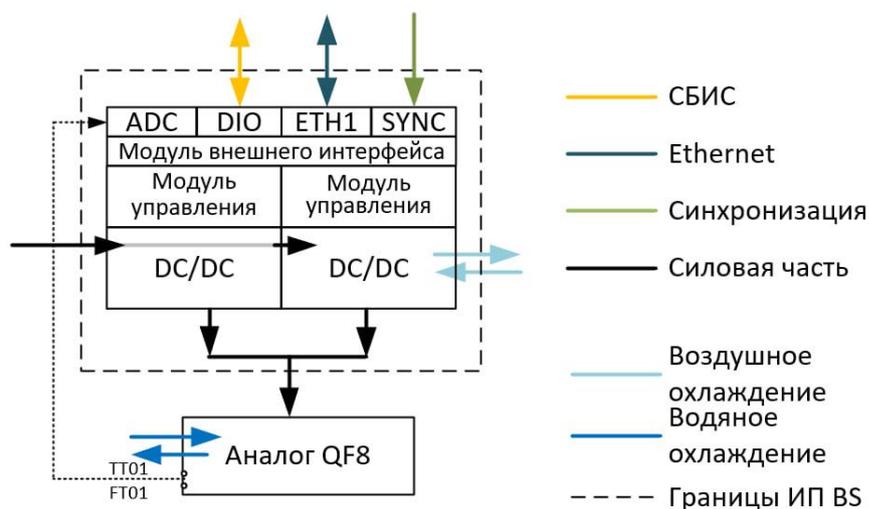


Рисунок 4. Структурная схема ИП BS с внешними соединениями

3.3.3.2.2. ИП BS предназначен для питания секступолей, квадруполей средних и октуполей, входящих в ускорительно-накопительный комплекс.

3.3.3.2.3. ИП BS должен иметь резервированную силовую часть в виде двух блоков преобразования напряжения. В штатном режиме работы оба блока преобразования напряжения должны равномерно делить мощность нагрузки. В случае выхода одного из блоков преобразования напряжения из строя, всю нагрузку должен принять на себя второй исправный блок.

3.3.3.2.4. ИП BS должен допускать возможность «горячей» замены блока преобразователя напряжения. Под «горячей» заменой здесь и далее понимается исключение необходимости прекращения работы источника питания в момент замены одного блока преобразователя напряжения на другой аналогичный.

3.3.3.2.5. Основные технические характеристики ИП BS приведены в табл. 22.

Таблица 22. Основные технические характеристики ИП BS

№	Параметр	Значение
1	Напряжение питания постоянного тока (выпрямленное), В	514
2	Пульсации питающего входного напряжения, не более, %	5,7
3	Система заземления	TN-S
4	Рабочее отклонение питающего напряжения от номинального значения, при котором обеспечиваются все выходные параметры, %	+10/-10
6	Наименьшее используемое отклонение питающего напряжения от номинального значения, при котором часть выходных параметров может не обеспечиваться, %	15
7	Выходной ток источника номинальный, А	85 ADC
8	Выходной ток источника максимальный, А	110 ADC
9	Выходной ток источника минимальный, А	0 ADC
10	Вид выходного тока	однополярный
11	Скорость установления выходного тока от нуля до максимального значения не более, А/с	±20
12	Напряжение выходное максимальное, В	15 VDC
13	Пульсации выходного напряжения, пик-пик, не более %	1

14	Мощность выходная максимальная, кВт	1,6
15	Шаг установки выходного тока во второй половине рабочего диапазона, мА	10
16	Точность измерения выходного тока во второй половине рабочего диапазона, мА	10
17	Относительная точность поддержания выходного тока в статическом режиме во второй половине рабочего диапазона не хуже, в долях от номинального значения	$5 \cdot 10^{-5}$
18	Напряжение изоляции вход-выход не менее, В	1500 VAC
19	Напряжение изоляции вход-корпус не менее, В	1500 VAC
20	Напряжение изоляции внешних интерфейсов и локальных органов управления от силовых цепей ИП BS не менее, В	1500 VAC
21	Рабочая температура окружающей среды, °С	+5...+35
22	Индуктивность нагрузки минимальная, мГн	76
23	Охлаждение	активное воздушное
24	КПД, %	Не менее 85

### 3.3.3.2.6. Требования к блоку контроллера ИП BS

#### 3.3.3.2.6.1. Требования к модулю внешнего интерфейса

Модуль внешнего интерфейса должен обеспечивать взаимодействие с СИЛА-САУ. Интерфейсы модуля:

- цифровой интерфейс Ethernet (спецификация порта и протокол передачи данных задается при разработке) с возможностью установки индивидуального IP адреса;
- интерфейс внешней синхронизации;
- интерфейс радиальной последовательной связи;
- дискретный интерфейс;

#### 3.3.3.2.6.2. Функции цифрового интерфейса

- передача команд управления режимами работы в ИП BS от СИЛА-САУ;
- передача целевых параметров работы ИП BS по току и напряжению от ИП BS в СИЛА-САУ;
- передача текущей измерительной информации от ИП BS в СИЛА-САУ;
- передача сигналов статуса «НОРМАЛЬНАЯ РАБОТА/ПОДКЛЮЧЕН РЕЗЕРВ/АВАРИЯ» ИП BS в СИЛА-САУ;
- передача/прием служебной информации, определенной протоколом взаимодействия с СИЛА-САУ;
- измерение мгновенного значения тока магнита с частотой не менее 1 кГц и передача значения в СИЛА-САУ по запросу;
- удаленная (по сети) настройка источника питания и его тестирование.

#### 3.3.3.2.6.3. Функции интерфейса внешней синхронизации

- прием от системы синхронизации СИЛА-САУ по одномодовой ВОЛС последовательного кода событий через оптический порт с частотой следования фреймов синхронизации 38МГц (протокол FPD LINK II), формат представления кодов событий устанавливается системой синхронизации;

- декодирование кодов событий и передача синхронизирующей информации в модуль управления источником питания.

#### 3.3.3.2.6.4. Функции радиальной последовательной связи

- дублирует основной цифровой интерфейс Ethernet в части оперативного информационного обмена данными (уставками тока и текущими значениями целевых параметров) с системой управления положением пучка и (или) контроллером быстрой коррекции в режимах прямого цифрового управления магнитным полем.

#### 3.3.3.2.6.5. Функции дискретного интерфейса

- включение/выключение ИП BS по сигналу от СИЛА-САУ в штатном режиме работы;  
- аварийное отключение источника питания по сигналу от системы безопасности СБИС;  
- формирование квитанции «Работа» от ИП BS в СИЛА-САУ;  
- формирование квитанции «Авария» от ИП BS в СИЛА-САУ.

#### 3.3.3.2.6.6. Функции аналогового интерфейса

- измерение температуры теплоносителя на входе в магнит;  
- измерение температуры теплоносителя на выходе из магнита;

3.3.3.2.6.7. ИП BS должен работать в двух режимах: режим отработки вэйвформы и отработки уставки.

Режим отработки вэйвформы: отработка по внешним/внутренним командам синхронизации вэйвформы, заранее загруженной в память устройства.

Старт отработки - после получения соответствующей команды от контроллера СУ и после прихода очередного импульса SYNC.

Возможность остановить отработку вэйвформы по команде, в этом случае устройство по отработке вэйвформы переходит в состояние ожидания.

Возможность разрешить продолжение отработки вэйвформы по команде (возврат к отработке вэйвформы). Старт продолжения синхронизируется по той же схеме, что и начальный старт отработки вэйвформы.

Окончание отработки вэйвформы - по исчерпанию ее длины.

Возможность заикливания отработки рабочей вэйвформы.

Возможность добавить для отработки отдельно заданное значение ко всем значениям обрабатываемой вэйвформы (смещение для обеспечения динамической коррекции). Отдельное значение учитывается в отработке, но не изменяет значений загруженной вэйвформы.

Режим отработки уставки: отработка значения за указанное время. Время задается числом тактов, за которые уставка должна быть отработана.

3.3.3.2.6.8. Перечень сигналов ИП BS представлен в табл. 23

Таблица 23. Перечень сигналов ИП BS

Наименование	Тип	Объем, байт	Доступ	Частота обращений	
				Реж. рабочий	Реж. измерений
Вейвформа	Table	10 000	RW	1 в час	по запросу
Уставка тока	Numeric	2	RW	100 мс	по запросу
Количество тактов N	Numeric	2	RW	100 мс	по запросу
Текущий ток в нагрузке	Numeric	2	R	быстрая	по запросу
Текущее напряжение	Numeric	2	R	быстрая	по запросу

Температура 1 теплоносителя	Numeric	2	R	медленная	по запросу
Температура 2 теплоносителя	Numeric	2	R	медленная	по запросу
Код ошибки/аварии	Numeric	2	R	медленная	по запросу
Статус источника тока	Numeric	1	R	медленная	по запросу
Командное слово	Numeric	1	RW	медленная	по запросу
Счетчик 1кГц	Numeric	2	R		

\* Список параметров может быть уточнен в процессе разработки устройства.

### 3.3.3.3. Требования к ИП SC

3.3.3.3.1. Состав ИП SC включает функциональные модули:

- блок преобразователя напряжения (основной, резервный) - 2 шт.;
- измерительный преобразователь выходного тока - 2 шт.;
- модуль управления цифровой - 1 или 2 шт. (определяется при разработке);
- модуль внешнего интерфейса - 1 шт.

3.3.3.3.2. ИП SC предназначен для питания корректора, входящего в ускорительно-накопительный комплекс.

3.3.3.3.3. ИП SC должен иметь резервированную силовую часть в виде двух блоков преобразования напряжения. В штатном режиме работы оба блока преобразования напряжения должны равномерно делить мощность нагрузки. В случае выхода одного из блоков преобразования напряжения из строя, всю нагрузку должен принять на себя второй исправный блок.

3.3.3.3.4. ИП SC должен допускать возможность «горячей» замены блоков преобразователей напряжения.

3.3.3.3.5. Основные технические характеристики ИП SC приведены в табл. 24.

Таблица 24. Основные характеристики ИП SC

№	Параметр	Значение
1	Напряжение питания постоянного тока (выпрямленное), В	514
2	Пульсации питающего входного напряжения, не более, %	5,7
3	Система заземления	TN-S
4	Рабочее отклонение питающего напряжения от номинального значения, при котором обеспечиваются все выходные параметры, %	+10/-10
6	Наименьшее используемое отклонение питающего напряжения от номинального значения, при котором часть выходных параметров может не обеспечиваться, %	-15
7	Выходной ток источника максимальный, А	+ 5 ADC
9	Выходной ток источника минимальный, А	- 5 ADC
10	Вид выходного тока	двуполярный
11	Скорость установления выходного тока от нуля до максимального значения не более, А/с	±20
12	Напряжение выходное максимальное, В	от -5 до +5 VDC

13	Пульсации выходного напряжения, пик-пик, не более %	1
14	Мощность выходная максимальная, Вт	25,0
15	Шаг установки выходного тока, мА	1
16	Точность измерения выходного тока, мА	1
17	Относительная точность поддержания выходного тока в статическом режиме не хуже, в долях от номинального значения	$5 \cdot 10^{-5}$
18	Напряжение изоляции вход-выход не менее, В	1500 VAC
19	Напряжение изоляции вход-корпус не менее, В	1500 VAC
20	Напряжение изоляции внешних интерфейсов и локальных органов управления от силовых цепей ИСТ095-30-ОПВ-П не менее, В	1500 VAC
21	Рабочая температура окружающей среды, °С	+5...+35
22	Индуктивность нагрузки минимальная, мГн	1
23	Охлаждение	Активное воздушное

### 3.3.3.3.6. Требования к блоку контроллера ИП SC

#### 3.3.3.3.6.1. Требования к модулю внешнего интерфейса

Модуль внешнего интерфейса должен обеспечивать взаимодействие с СИЛА-САУ. Интерфейсы модуля:

- цифровой интерфейс Ethernet (спецификация порта и протокол передачи данных определяется при разработке конструкторской документации) с возможностью установки индивидуального IP адреса;
- интерфейс внешней синхронизации;
- интерфейс радиальной последовательной связи;
- дискретный интерфейс;

#### 3.3.3.3.6.2. Функции цифрового интерфейса:

- передача команд управления режимами работы в ИП SC от СИЛА-САУ;
- передача целевых параметров работы ИП SC по току и напряжению от ИП в СИЛА-САУ;
- передача текущей измерительной информации от ИП SC в СИЛА-САУ;
- передача сигналов статуса «НОРМАЛЬНАЯ РАБОТА/ПОДКЛЮЧЕН РЕЗЕРВ/АВАРИЯ» ИП SC в СИЛА-САУ;
- передача/прием служебной информации, определенной протоколом взаимодействия с СИЛА-САУ;
- измерение мгновенного значения тока магнита с частотой не менее 1 кГц и передача значения в СИЛА-САУ по запросу;
- удаленная (по сети) настройка источника питания и его тестирование.

#### 3.3.3.3.6.3. Функции интерфейса внешней синхронизации:

- прием от системы синхронизации СИЛА-САУ по одномодовой ВОЛС последовательного кода событий через оптический порт с частотой следования фреймов синхронизации 38МГц (протокол FPD LINK II), формат представления кодов событий устанавливается системой синхронизации;
- декодирование кодов событий и передача синхронизирующей информации в модуль управления источником питания.

3.3.3.3.6.4. Функции интерфейса радиальной последовательной связи:

- дублирует основной цифровой интерфейс Ethernet в части оперативного информационного обмена данными (уставками тока и текущими значениями целевых параметров) с системой управления положением пучка и (или) контроллером быстрой коррекции в режимах прямого цифрового управления магнитным полем.

3.3.3.3.6.5. Функции дискретного интерфейса:

- включение/выключение ИП SC по сигналу от СИЛА-САУ в штатном режиме работы;  
- аварийное отключение источника питания по сигналу от системы безопасности СБИС;  
- формирование квитанции «Работа» от ИП SC в СИЛА-САУ;  
- формирование квитанции «Авария» от ИП SC в СИЛА-САУ.

3.3.3.3.6.6. Функции аналогового интерфейса:

- измерение температуры теплоносителя на входе в магнит;  
- измерение температуры теплоносителя на выходе из магнита;

3.3.3.3.6.7. Источник должен работать в двух режимах: режим отработки вэйвформы и отработки уставки.

Режим отработки вэйвформы: отработка по внешним/внутренним командам синхронизации вэйвформы, заранее загруженной в память устройства.

Старт отработки - после получения соответствующей команды от контроллера СУ и после прихода очередного импульса SYNC.

Возможность остановить отработку вэйвформы по команде, в этом случае устройство по отработке вэйвформы переходит в состояние ожидания.

Возможность разрешить продолжение отработки вэйвформы по команде (возврат к отработке вэйвформы). Старт продолжения синхронизируется по той же схеме, что и начальный старт отработки вэйвформы.

Окончание отработки вэйвформы - по исчерпанию ее длины.

Возможность заикливания отработки рабочей вэйвформы.

Возможность добавить для отработки отдельно заданное значение ко всем значениям обрабатываемой вэйвформы (смещение для обеспечения динамической коррекции). Отдельное значение учитывается в отработке, но не изменяет значений загруженной вэйвформы.

Режим отработки уставки: отработка значения за указанное время. Время задается числом тактов, за которые уставка должна быть отработана.

3.3.3.3.6.8. Перечень сигналов ИП SC представлен в табл. 25.

Таблица 25. Перечень сигналов ИП SC

Наименование	Тип	Объем, байт	Доступ	Частота обращений	
				Реж. рабочий	Реж. измерений
Вэйвформа	Table	10 000	RW	1 в час	по запросу
Уставка тока	Numeric	2	RW	100 мс	по запросу
Количество тактов N	Numeric	2	RW	100 мс	по запросу
Текущий ток в нагрузке	Numeric	2	R	быстрая	по запросу
Текущее напряжение	Numeric	2	R	быстрая	по запросу
Температура 1 теплоносителя	Numeric	2	R	медленная	по запросу
Температура 2 теплоносителя	Numeric	2	R	медленная	по запросу

Наименование	Тип	Объем, байт	Доступ	Частота обращений	
				Реж. рабочий	Реж. измерений
Код ошибки/аварии	Numeric	2	R	медленная	по запросу
Статус источника тока	Numeric	1	R	медленная	по запросу
Командное слово	Numeric	1	RW	медленная	по запросу
Счетчик 1кГц	Numeric	2	R		

\* Список параметров может быть уточнен в процессе разработки устройства

#### 3.3.3.4. Требования к секционному выпрямителю AC/DC

##### 3.3.3.4.1. В состав секционного выпрямителя AC/DC входят:

- блок силовой - 1 шт.;
- модуль управления и внешнего интерфейса - 1 шт.

3.3.3.4.2. AC/DC предназначен для питания источников питания постоянным напряжением.

3.3.3.4.3. Основные технические характеристики выпрямителя приведены в табл. 26.

Таблица 26. Основные технические характеристики секционного выпрямителя

№	Параметр	Значение
1	Напряжение питания промышленной частоты номинальное, В	3 x 400 VAC + N + G
2	Система заземления	TN-S
3	Рабочее отклонение питающего напряжения от номинального значения, при котором обеспечиваются все выходные параметры, %	+10/-10
4	Наименьшее используемое отклонение питающего напряжения от номинального значения, при котором часть выходных параметров может не обеспечиваться, %	15
5	Частота питающего напряжения, Гц	50 ± 1
6	Выходной ток источника максимальный, А	30
7	Выходной ток источника минимальный, А	0
8	Вид выходного тока	постоянный
9	Напряжение выходное номинальное, В	514 VDC
10	Пульсации выходного напряжения, не более, %	6
11	Мощность выходная максимальная, кВт	15
16	Напряжение изоляции вход-корпус не менее, В	1500 VAC
17	Напряжение изоляции внешних интерфейсов и локальных органов управления от силовых цепей AC/DC-380/514-15кВт не менее, В	1500 VAC
18	Рабочая температура окружающей среды, °С	+5...+35
19	Характер нагрузки	Емкостной с ограничением пусковых токов
20	Охлаждение	воздушное

#### 3.3.3.4.4. Требования к модулю управления и внешнего интерфейса

Модуль управления и внешнего интерфейса должен обеспечивать взаимодействие АС/ДС с СИЛА-САУ. Интерфейсы модуля:

- цифровой интерфейс Ethernet (спецификация порта и протокол передачи данных определяется при разработке конструкторской документации) с возможностью установки индивидуального IP адреса;
- дискретный интерфейс.

#### 3.3.3.4.5. Функции цифрового интерфейса

- передача текущей измерительной информации от АС/ДС по параметрам тока и напряжения в секции шин постоянного тока в СИЛА-САУ;
- передача служебной информации, определенную протоколом взаимодействия.

#### 3.3.3.4.6. Функции дискретного интерфейса

- включение/выключение АС/ДС по сигналу от СИЛА-САУ в штатном режиме работы;
- аварийное отключение источника питания по сигналу от СБИС;
- формирование квитанции «Работа» от АС/ДС в САУ;
- формирование квитанции «Авария» от АС/ДС в САУ.

#### 3.3.3.5. Функциональные требования к источникам питания

Источники питания должны обеспечивать выполнение следующих функций:

- переключение режимов «ПУСК/СТОП» запуска и остановки ИП;
- формирование на нагрузке тока заданной величины в пределах максимальных значений выходного напряжения и тока;
- индикация статуса ИП «ВКЛЮЧЁН/ВЫКЛЮЧЕН»;
- индикация статуса «НОРМАЛЬНАЯ РАБОТА/АВАРИЯ»;
- переключение режимов управления «МЕСТНОЕ/ДИСТАНЦИОННОЕ»;
- индикация режима управления «МЕСТНОЕ/ДИСТАНЦИОННОЕ»;
- визуальное представление текущего значения выходного тока в формате «XXX.XX» на дисплее;
- установка значения выходного тока в формате как «XXX.XX»;
- визуальное представление текущего значения выходного напряжения ИП на дисплее в формате «XX.X»;
- индикация срабатывания защиты по току;
- индикация срабатывания защиты по напряжению;
- сброс состояний защит;
- индикация наличия сетевого питания;
- индикация отказа для каждого из 2 имеющихся блоков преобразователей напряжения;
- индикация состояния внутренних цепей ИП по усмотрению разработчика (при необходимости).

### **3.3.4. Экспериментальный образец стенда для калибровки датчиков и измерения положения пучка в ускорительно-накопительном комплексе исследовательской установки «СИЛА»**

3.3.4.1. Экспериментальный образец стенда для калибровки датчиков и измерения положения пучка в ускорительно-накопительном комплексе исследовательской установки «СИЛА» (далее – ЭОС, Стенд) является аппаратно-программным комплексом, обеспечивающим калибровку и достоверную верификацию данных, получаемых с имеющихся у Заказчика датчиков положения электронного пучка.

3.3.4.2. ЭОС предназначен для реализации следующих функций:

- калибровки пассивных датчиков положения пучка электронов в составе механического узла (рис. 5) (далее – Блок датчиков);
- определение рассогласования (несовпадения) оси проходящей через геометрический центр Блока датчиков перпендикулярно осям X, Y вдоль направления распространения электронного пучка (далее - механический центр) и «виртуальной» оси, соответствующей оси распространения пучка по данным пассивных датчиков, входящих в состав Блока датчиков (далее - электрический центр);
- измерение и верификация выходных параметров пассивных датчиков, соответствующих отклонению «реального» центра масс пучка электронов от электрического центра Блока датчиков.

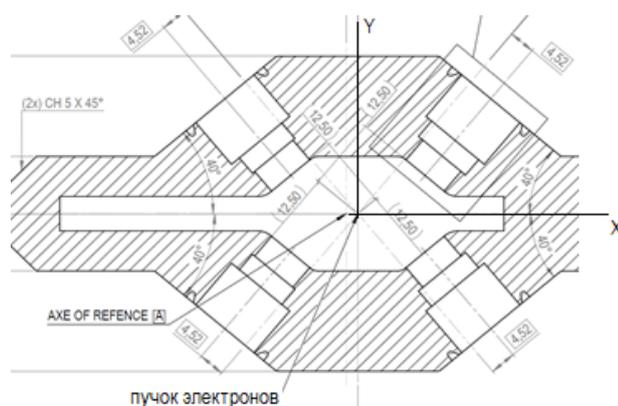


Рисунок 5. Поперечное сечение вакуумной камеры в области установки датчиков положения пучка (в непосредственной близости от фланца)

3.3.4.3. Для выполнения калибровки датчиков с помощью разрабатываемого ЭОС, Блок датчиков размещается на стапеле с использованием его стандартных узлов крепления и через точку его механического центра натягивается электрический проводник, по которому пропускается ток требуемого номинала. Электрический проводник в таком случае выполняет функцию имитатора пучка. На основе измерений независимых сигналов от каждого из датчиков формируется вектор управляющих команд для включения приводов, обеспечивающих смещение стапеля в направлениях, обеспечивающих выравнивание потенциалов на всех четырех датчиках. Данные смещения преобразуются в калибровочные поправки измеряемых сигналов, для каждого из датчиков. На стенде при этом фиксируется положение, характеризующее совпадение механического и электрического центров Блока датчиков.

3.3.4.4. При измерении отклонении имитатора пучка и для верификации данных, поступаемых с датчиков, на каждом этапе эксперимента стапель ЭОС принудительно смещается на заданный шаг: вдоль каждого из направлений (вертикально или горизонтально), либо совместно в обоих направлениях (синхронно или асинхронно). За счет известного механического перемещения стапеля относительно неподвижной «струны» имитатора пучка методом инверсии формируются верифицированные данные, поступаемые со всех четырех датчиков, соответствующие известному механическому смещению. При этом алгоритм управления режимами измерений должен реализовывать три сценария измерения положения имитатора пучка:

- пооборотные измерения (с привязкой к «нулевой сепаратрисе»);
- медленные измерения с возможностью настройки времени измерений на частоте 10 кГц и 10 Гц.

3.3.4.5. Реализация выбора и настройки указанных режимов, должны быть учтены как при реализации аппаратной части управления стендом, системы измерений и конфигурации генератора сигналов для имитатора пучка, так и при реализации функций пользовательского программного обеспечения.

3.3.4.6. Помимо непосредственно экспериментов по анализу данных отклонения центра масс пучка также должна быть предусмотрена возможность имитации аналогичных реальным электрических помех на линиях связи между блоком датчиков и измерительной системой и за счет генерации по заданному алгоритму питания имитатора должна быть проверена система синхронизации при измерении параметров датчиков.

3.3.4.7. Технические требования к ЭОС

3.3.4.7.1. ЭОС представляет собой совокупность электромеханической части стенда и электронного блока управления, калибровки и измерения параметров датчиков положения пучка. Электромеханическая часть в свою очередь состоит из компонентов, обеспечивающих перемещение блока датчиков в двух направлениях относительно неподвижного имитатора пучка (см. рис. 6).

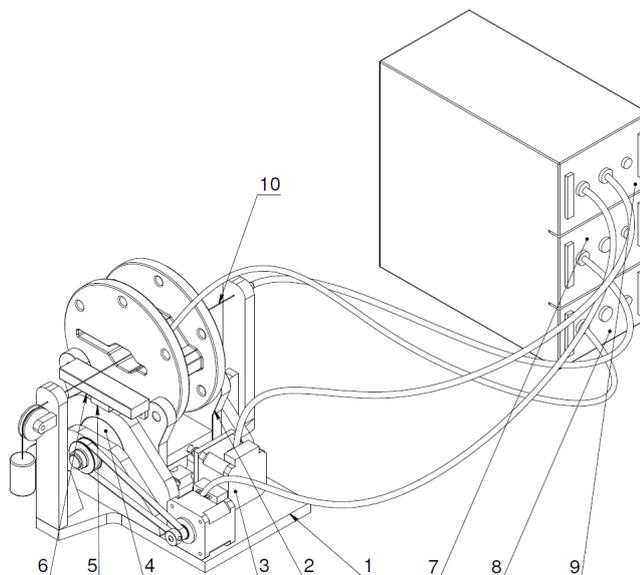


Рисунок 6. Общий вид ЭОС с блоком измерений и калибровки

3.3.4.7.1.1. Электромеханическая часть стенда

Для корректного выполнения своих функций при калибровке датчиков и проведения экспериментов в лабораторных условиях, в состав электромеханической части Стенда должны входить следующие элементы:

- неподвижное основание (поз.1 на рисунке 6) с узлами крепления электрического проводника-имитатора (поз.10 на рисунке 6);
- стапель для крепления блока датчиков (поз. 2 на рисунке 6);
- линейные приводы и направляющие для перемещения стапеля в горизонтальной плоскости (поз. 3 на рисунке 6);
- привод и эксцентриковый редуктор для перемещения стапеля в вертикальной плоскости (поз. 4 на рисунке 6);
- датчики линейного перемещения (поз. 5 и 6 на рисунке 6).

#### 3.3.4.7.1.2. Блок электроники калибровки и измерения положения пучка

Для реализации режимов калибровки и измерения положения имитатора пучка в рамках проекта должен быть создан аппаратно-программный комплекс системы управления и анализа данных, имеющий информационные и силовые линии связи со стендом, на котором установлен блок датчиков. Структура блока электроники должна включать аналоговую и цифровую часть, и состоять из относительно самостоятельных модулей:

- модуль создания требуемых параметров тока на имитаторе пучка электронов (поз. 7) (Модуль имитатора), непосредственные требования к генератору сигналов и режимам его функционирования уточняются на этапе 1 выполнения НИОКР;
- модуль измерения параметров датчиков положения пучка, в том числе с учетом сигналов синхронизации (поз. 8) (Модуль измерений);
- модуль управления приводами стенда, включая элементы взаимодействия с датчиками обратной связи (поз. 9) (Модуль управления).

Окончательный состав модулей и их конфигурация уточняются на этапе 1 выполнения НИОКР.

Состав, тип и назначение входов и выходов для каждого модуля определяются в соответствии с требованиями, предъявляемыми к блоку электроники калибровки и измерения положения пучка (п. 3.3.4.7.2.2.).

Обе части Стенда должны представлять собой законченные изделия. Электронная часть Стенда должна быть установлена в конструктиве серверного шкафа либо должна быть размещена в конструктиве лабораторной стойки 19", с необходимым электротехническим оборудованием.

#### 3.3.4.7.1.3. Состав системы управления и конфигурирования

Система управления и конфигурирования должна включать в себя вычислительный блок (ноутбук) со следующими характеристиками:

- частота процессора - не менее 3000 МГц, объем оперативной памяти - не менее 16 Гб, тип оперативной памяти - не менее DDR4, общий объем накопителя - не менее 1 Тб, тип накопителя - SSD;
- специализированное пользовательское программное обеспечение для настройки и конфигурирования системы диагностик.

Специализированное пользовательское программное обеспечение определяется Исполнителем.

#### 3.3.4.7.2. Требования назначения ЭОС

##### 3.3.4.7.2.1. Электромеханическая часть стенда

К электромеханической части стенда предъявляются следующие требования по позиционированию блока с датчиками положения пучка:

- минимальный шаг перемещения блока: не более 1 мкм;
- погрешность перемещения блока: не более 0,5 мкм;
- максимальная скорость перемещения блока: не менее 1 мм/с;
- уровень вибраций (частота собственных колебаний механической части стенда): не менее 90 Гц;
- масса электромеханической части (без учета веса блока): не более 100 кг (не включая массу подставки для напольного варианта размещения стенда. Требования к подставке могут быть уточнены на этапе 1 выполнения НИОКР);
- диапазон перемещений блока в режиме калибровки датчиков: не менее 2 мм;
- диапазон перемещений блока в режиме эксперимента: не менее 1 мм;

- напряжение питания приводной части Стенда: не более 60В.

Кроме того, в качестве ограничений предельных перемещений на экспериментальном образце стенда для калибровки датчиков и измерения положения пучка должны быть предусмотрены концевые выключатели, ограничивающие ход подвижных частей стенда.

#### 3.3.4.7.2.2. Блок электроники калибровки и измерения положения пучка

Блок электроники калибровки и измерения положения пучка (далее – Блок электроники) должен обеспечивать одновременные прямые измерения напряжений четырех датчиков в режиме калибровки и формировать величину поправки измеренных значений для каждого датчика.

В режиме эксперимента Блок электроники должен обеспечивать измерения положения имитатора пучка относительно электрического центра блока датчиков, обрабатывать эти данные последовательно, чтобы получить три аналоговых выходных напряжения: X, Y и сумма.

##### 3.3.4.7.2.2.1. К Блоку электроники предъявляются следующие требования:

- диапазон измерений напряжений с датчиков:  $\pm 12$  В;
- минимальная поправочная величина напряжений при калибровке: не более 0,1 мВ;
- чувствительность по изменению напряжения: не более 0,1 мВ;
- максимальная частота анализа напряжений: не более 400 МГц;
- максимальная частота формирования управляющих команд на приводы Стенда: не менее 10 МГц;
- блок должен располагать встроенной быстродействующей памятью для хранения последних 100000 (не менее) измерений положения пучка;
- на лицевой панели Блока должны присутствовать три индикатора: светодиод зеленый «ПИТАНИЕ», светодиод зеленый «РАБОТА», светодиод красный «ОШИБКА».

3.3.4.7.2.2.2. Блок электроники должен быть снабжен входами и выходами для подключения к другим модулям стенда. Блок электроники должен иметь следующие интерфейсы в части модуля измерений:

- входы для подключения датчиков положения пучка - не менее 4 шт.;
- порт обмена данными Ethernet не менее 1 Гбит/с;
- вход синхронизации с минимальной длительностью импульса не менее 1 мкс и с максимальной частотой синхроимпульсов не менее 40 МГц: не менее 4 шт.

3.3.4.7.2.2.3. Блок электроники должен иметь следующие интерфейсы в части модуля управления:

- вход питания от сети 220В со встроенным блоком стабилизации напряжения и защитой от короткого замыкания и перенапряжения в сети питания;
- входы для подключения оптических датчиков обратной связи по положению: не менее 2 шт.;
- выходы для управления драйверами шаговых двигателей стенда: не менее 2 шт.;
- интерфейсный выход для запуска передачи параметров быстрой коррекции: 1 шт.;
- разъем типа RJ-45, обеспечивающий связь по протоколам TCP/IP (с поддержкой TANGO Controls или DDS) для обмена данными, программирования, настройки и тестирования - 1 шт.;

- блок электроники должен иметь следующие интерфейсы в части модуля управления: выход для управления генераторами сигналов: не менее 2 шт.

Кроме того, все модули должны иметь встроенные линии связи между собой.

3.3.4.7.2.2.4. Блок электроники должен выполнять следующие функции:

- подключение к датчикам положения пучка (Beam Position Monitor - BPM);
- измерение положения электронного пучка в соответствии с требованиями, перечисленными выше;
- обработка полученных измерений данных и передача их по протоколу Tango Control;
- сохранение данных о измерениях положения имитатора пучка с частотой не менее 10 кГц в буфере размером не менее 100000 точек на каждый канал и с последующей выдачей по запросу;
- передача данных по запросу об измерениях положения имитатора пучка с частотой не менее 10 Гц в буфере размером не менее 100000 точек на каждый канал;
- калибровку каждого датчика и блока датчиков в целом с возможностью сохранения параметров и редактирование их при помощи протоколов Tango Control или DDS;
- проводить измерения с привязкой к «нулевой сепаратрисе». Сигнал синхронизации с длительностью не менее 8 нс, с фронтом нарастания не более 1 нс.
- синхронизацию элементов и блоков, входящих в состав блока электроники с привязкой к «нулевой сепаратрисе»;
- в рамках работ по разработке блока электроники дополнительно должно быть разработано пользовательское программное обеспечение для наладки, настройки и программирования блока измерения положения имитатора пучка. Данное программное обеспечение должно быть предоставлено Заказчику.

### **3.3.5. Экспериментальный образец блока имитации положения электронного и фотонного пучков (БИП) в ускорительно-накопительном комплексе исследовательской установки «СИЛА»**

3.3.5.1. Экспериментальный образец блока имитации положения электронного и фотонного пучков (БИП) в ускорительно-накопительном комплексе исследовательской установки «СИЛА» предназначен для:

- имитации положения электронного пучка и генерации координат положения электронного пучка исходя из характеристик магнитных элементов ускорительно-накопительного комплекса, расположения элементов накопительного кольца;
- имитации положения фотонного пучка исходя из положения электронного пучка и расположения элементов канала вывода синхротронного излучения;
- имитации частот бетатронных колебаний в накопительном кольце;
- имитации работы системы быстрой стабилизации орбиты пучка (Fast Orbit Feedback system).

3.3.5.2. Экспериментальный образец блока имитации электронного и фотонного пучков ускорительно-накопительного комплекса «СИЛА» должен представлять программно-аппаратный комплекс. Структурная схема БИП показана на рис. 7.

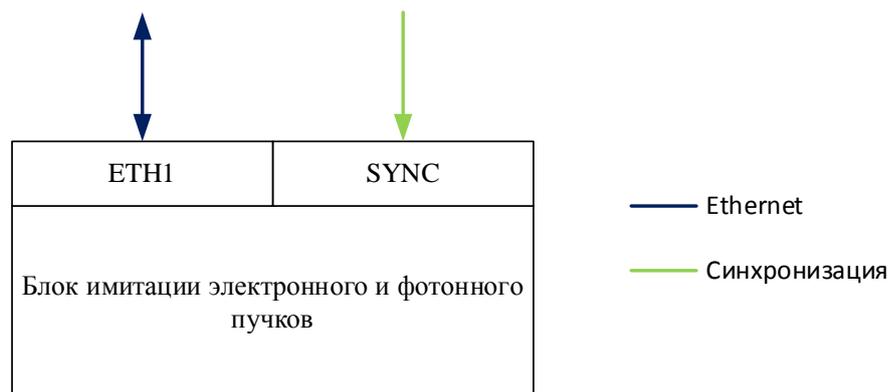


Рисунок 7. Структурная схема БИП.

Для обмена данными должен использоваться интерфейс ETH1. Протокол, количество интерфейсов Ethernet должно быть согласовано с Заказчиком.

Порт SYNC используется для синхронизации процессов (например, задание токов в магниты). Количество портов синхронизации определяется на стадии разработки конструкторской документации блока имитации.

3.3.5.3. БИП должен имитировать работу магнитных элементов, импульсных элементов, прямолинейных промежутков, датчиков положения электронного пучка (ВРМ) и датчиков положения фотонного пучка (РВРМ) УНК.

3.3.5.3.1. БИП должен вычислять следующие данные:

- координаты электронного пучка (2 координаты) для каждого ВРМ;
- координаты фотонного пучка для 60 каналов вывода (в каждом канале вывода может быть расположено до 2 РВРМ).

3.3.5.3.2. БИП должен выдавать следующие данные:

- координаты электронного пучка (2 координаты) для каждого ВРМ;
- массив пооборотных (для каждого оборота) значений координат электронного пучка емкостью не менее 4 000 000 координат (1 координата соответствует 1 датчику ВРМ);
- координаты фотонного пучка;
- статус работы БИП.

Прямолинейный промежуток - это отрезок вакуумной камеры, где электронный пучок электронов не подвержен воздействию магнитных полей и движется прямолинейно.

Магнитный и импульсный элемент - это отрезок вакуумной камеры, где пучок электронов может изменять направление движения при воздействии на него магнитного поля.

Датчики положения - элементы, которые расположены на прямолинейных участках и должны считывать и передавать данные о положении пучка (фотонного или электронного).

3.3.5.3.3. В части магнитных элементов должны имитироваться следующие магнитные элементы:

- корректирующий магнит;
- квадрупольная линза;
- секступольная линза;
- октупольная линза;

- дипольный магнит.

3.3.5.3.4. В части импульсных элементов должен имитироваться кикер-магнит.

3.3.5.4. Основные технические характеристики БИП приведены в табл. 27.

Таблица 27. Основные технические характеристики БИП

№	Параметр	Значение
1	Напряжение питания переменного тока, В	230
2	Система заземления	TN-S
3	Количество интерфейсов Ethernet	Не менее 1
4	Количество портов синхронизации	Не менее 1

3.3.5.5. БИП должен иметь возможность установки в шасси (стойку) формата 19” и иметь высоту не более 6U.

3.3.5.6. Требования к блоку связей с внешними системами

Интерфейсы БИП:

- цифровой интерфейс Ethernet (спецификация порта и протокол передачи данных определяется при разработки конструкторской документации) с возможностью установки индивидуального IP адреса - EТН1;

- интерфейс внешней синхронизации - SYNC.

3.3.5.6.1. Функции цифрового интерфейса:

- передача/считывание информации из конфигурационной базы СИЛА-САУ;

- передача команд управления режимами работы от СИЛА-САУ;

- вычисление положения электронного и фотонного пучков;

- передача целевых параметров работы БИП по положениям электронного и фотонного пучков в СИЛА-САУ;

- передача/прием служебной информации, определенной протоколом взаимодействия с СИЛА-САУ.

3.3.5.6.2. Из конфигурационной базы, предоставляемой Заказчиком необходимо принимать в БИП следующую информацию:

- габаритные размеры элементов (магнитных элементов, импульсных элементов, прямолинейных участков);

- взаимное расположение элементов с указанием отклонений расположения элемента от проектного положения;

- характеристики магнитных элементов;

- характеристики импульсных элементов;

- характеристики датчиков положения пучка.

Формат передачи и приема данных должен быть согласован между Исполнителем и Заказчиком.

3.3.5.6.3. Функции интерфейса внешней синхронизации:

- прием от системы синхронизации СИЛА-САУ по одномодовой ВОЛС последовательного кода событий через оптический порт с частотой следования фреймов синхронизации 38МГц (протокол FPD LINK II), формат представления кодов событий устанавливается системой синхронизации;

либо:

- прием от системы синхронизации СИЛА-САУ по одномодовой ВОЛС последовательного кода событий через оптический порт с частотой следования фреймов синхронизации до 125 МГц, формат представления кодов событий устанавливается системой синхронизации;

- декодирование кодов событий и передача синхронизирующей информации в модуль управления источником питания.

3.3.5.6.4. В части передачи команд управления режимами работы от СИЛА-САУ: режим отработки вэйвформы и отработки уставки.

3.3.5.6.4.1. Режим отработки вэйвформы: отработка по внешним/внутренним командам синхронизации вэйвформы, заранее загруженной в память устройства.

Старт отработки - после получения соответствующей команды от СИЛА-САУ и после прихода очередного импульса SYNC.

Возможность остановить отработку вэйвформы по команде, в этом случае устройство по отработке вэйвформы переходит в состояние ожидания.

Возможность разрешить продолжение отработки вэйвформы по команде (возврат к отработке вэйвформы). Старт продолжения синхронизируется по той же схеме, что и начальный старт отработки вэйвформы.

Окончание отработки вэйвформы - по исчерпанию ее длины.

Возможность заикливания отработки рабочей вэйвформы.

Возможность добавить для отработки отдельно заданное значение ко всем значениям обрабатываемой вэйвформы (смещение для обеспечения динамической коррекции). Отдельное значение учитывается в отработке, но не изменяет значений загруженной вэйвформы.

3.3.5.6.4.2. Режим отработки уставки: отработка значения за указанное время. Время задается числом тактов, за которые уставка должна быть отработана.

В части передачи команд управления режимами работы от СИЛА-САУ должны быть использованы следующие данные:

- уставки токов для магнитных элементов;
- команда включения/выключения кикера.

3.3.5.6.5. Базовые математические зависимости для вычисления положения электронного пучка показаны в приложении 1 настоящего технического задания. Алгоритмы расчета должны быть разработаны Исполнителем с участием Заказчика.

3.3.5.6.6. В части электронного пучка БИП должна включать:

- до 400 ВРМ;
- до 2400 магнитных элементов;
- до 2 кикеров;
- до 2800 прямолинейных промежутков.

3.3.5.6.7. В части вычисления положения электронного пучка должны быть соблюдены следующие требования:

- количество каналов вывода синхротронного излучения не более 60;
- в каждом канале расположено до 2 ВРМ;
- на канале присутствуют только прямолинейные промежутки.

3.3.5.6.8. Алгоритм вычисления положения фотонного пучка должен быть разработан Исполнителем и согласован с Заказчиком.

### **3.3.6. Технический проект системы ВЧ синхронизации ускорительно-накопительного комплекса исследовательской установки «СИЛА»**

#### **3.3.6.1. Объем выполняемых работ.**

Выполняемые работы в части разработки технического проекта системы ВЧ синхронизации должны включать в себя и охватывать:

- устройства и приборы системы ВЧ синхронизации;
- схемы структурные и принципиальные распространения опорных ВЧ сигналов по радиоэлектронным и волоконнооптическим линиям связи;
- требования к инфраструктуре электропитания системы ВЧ синхронизации;
- требования к инфраструктуре охлаждения (термостабилизации) системы ВЧ синхронизации, включая каналы распространения опорных ВЧ сигналов;
- инфраструктуру информационной интеграции системы ВЧ синхронизации в общую систему автоматизированного управления комплексом;
- вычислительную инфраструктуру системы ВЧ синхронизации;
- математическое и программное обеспечение системы ВЧ синхронизации комплекса.

#### **3.3.6.2. Границы системы ВЧ синхронизации.**

Границы проходят:

- с системой технологической синхронизации по синхро-разъемам устройств ВЧ синхронизации;
- с системой автоматизированного управления комплексом по порту Ethernet устройств ВЧ синхронизации;
- с системой энергоснабжения по силовым разъемам электропитания (переменное однофазное 220В и трехфазное 380В);
- с технологическим оборудованием ВЧ-системы по разъемам (клеммным соединителям) клистронов и резонаторов.

При необходимости границы системы ВЧ синхронизации уточняются при разработке частного технического задания.

#### **3.3.6.3. Перечень устройств, подлежащих разработке, и основные требования к ним**

Проектом необходимо определить состав и комплектность технических средств системы ВЧ синхронизации. Разработка устройств и приборов ВЧ синхронизации не является предметом технического проекта. Для проверки правильности решений разрабатываемого технического проекта в настоящем техническом задании предусмотрена (п 4.3.1) разработка и изготовление прототипа системы ВЧ синхронизации, что в соответствии с ГОСТ 2.120-2013. Межгосударственный стандарт. Единая система конструкторской документации технический проект, не включается в технический проект.

#### **3.3.6.4. Выполняемые работы:**

- разработка частного технического задания на систему ВЧ синхронизации ускорительно-накопительного комплекса исследовательской установки «СИЛА» (этап 1 календарного плана);
- разработка технического проекта на систему ВЧ синхронизации ускорительно-накопительного комплекса исследовательской установки «СИЛА».

#### **3.3.6.5. Требования к выполняемым работам**

3.3.6.5.1. Частное техническое задание на систему ВЧ синхронизации должно быть разработано в соответствии с требованиями ГОСТ 34.602-2020. ИТ. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Техническое задание на создание автоматизированной системы.

3.3.6.5.2. Технический проект на систему ВЧ синхронизации должен быть разработан в соответствии требованиями ГОСТ 2.102-2013. ЕСКД. Виды и комплектность конструкторских документов, и ГОСТ 34.201-2020. Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Виды, комплектность и обозначение документов при создании автоматизированных систем.

3.3.6.5.3. Материалы технического проекта должны включать в себя документы, указанные в п. 2.2.1. настоящего технического задания.

### **3.3.7. Технический проект системы технологической синхронизации ускорительно-накопительного комплекса исследовательской установки «СИЛА»**

#### **3.3.7.1. Объем выполнения работ**

Выполняемые работы в части разработки технического проекта системы технологической синхронизации должны охватывать:

- модули системы технологической синхронизации (низкоскоростного сегмента и высокоскоростного сегмента);
- требования к инфраструктуре системы технологической синхронизации;
- инфраструктуру информационной интеграции системы технологической синхронизации комплекса;
- вычислительную инфраструктуру системы технологической синхронизации комплекса;
- программное обеспечение системы технологической синхронизации комплекса.

#### **3.3.7.2. Границы системы технологической синхронизации**

Границы проходят:

- с системой ВЧ синхронизации по разъемам на модулях системы технологической синхронизации;
- с системой управления по порту Ethernet на верхнем уровне;
- с системой энергоснабжения по силовым-разъемам модулей технологической синхронизации;
- с технологическим оборудованием комплекса по разъемам оборудования.

При необходимости границы системы технологической синхронизации уточняются при разработке частного технического задания на данную систему.

#### **3.3.7.3. Перечень устройств, подлежащих разработке, и основные требования к ним**

Техническим проектом необходимо определить состав и комплектность технических средств системы технологической синхронизации. Для проверки правильности решений разрабатываемого технического проекта в настоящем техническом задании предусмотрена (п 3.3.2) разработка и изготовление прототипа системы технологической синхронизации, что в соответствии с ГОСТ 2.120-2013. Межгосударственный стандарт. Единая система конструкторской документации технический проект, не включается в технический проект.

#### **3.3.7.4. Выполняемые работы**

- разработка частного технического задания на систему технологической синхронизации ускорительно-накопительного комплекса исследовательской установки «СИЛА» (этап 1 календарного плана);
- разработка технического проекта на систему технологической синхронизации ускорительно-накопительного комплекса исследовательской установки «СИЛА» (этап 1 календарного плана).

#### **3.3.7.5. Требования к выполняемым работам**

3.3.7.5.1. Частное техническое задание на систему технологической синхронизации должно быть разработано в соответствии с требованиями ГОСТ 34.602-2020. «ИТ. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Техническое задание на создание автоматизированной системы»

3.3.7.5.2. Технический проект на систему технологической синхронизации должен быть разработан в соответствии с требованиями ГОСТ 2.120-2013 Межгосударственный стандарт. Единая система конструкторской документации технический проект, и ГОСТ 34.201-2020. Информационные технологии. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Виды, комплектность и обозначение документов при создании автоматизированных систем.

3.3.7.5.3. Материалы технического проекта должны включать в себя документы, указанные в п. 2.2.1. настоящего технического задания.

### **3.3.8. Технический проект системы управления магнитной системы ускорительно-накопительного комплекса исследовательской установки «СИЛА»**

#### **3.3.8.1. Объем выполнения работ**

Выполняемые работы в части разработки технического проекта системы управления магнитной системой установки должна включать в себя и охватывать:

- информацию о размещении и подключении источников питания магнитной системы комплекса;
- требования к инфраструктуре энергоснабжения магнитной системы комплекса;
- требования к инфраструктуре охлаждения магнитной системы комплекса;
- инфраструктуру информационной интеграции источников питания магнитной системы;
- инфраструктуру синхронизации источников питания магнитной системы;
- вычислительную инфраструктуру системы управления магнитной системой комплекса;
- программное обеспечение системы управления магнитной системой комплекса.

#### **3.3.8.2. Границы системы управления магнитной системой**

Границы проходят:

- с системой технологической синхронизации по синхро-разъемам источников питания на нижнем уровне;
- с системой управления по порту Ethernet на верхнем уровне;
- с системой энергоснабжения по силовым-разъемам источников питания либо по силовым разъемам выпрямителей;
- с технологическим оборудованием магнитной системы по разъемам источников питания;

Источники питания входят в состав системы управления магнитной системы.

При необходимости границы системы управления магнитной системы уточняются при разработке частного технического задания (этап 1 календарного плана).

#### **3.3.8.3. Перечень устройств, подлежащих разработке, и основные требования к ним.**

Техническим проектом необходимо определить состав и комплектность технических средств системы управления магнитной системы. Для проверки правильности решений разрабатываемого технического проекта в настоящем техническом задании предусмотрена (п 3.3.1) разработка и изготовление прототипа системы управления магнитной системой, что в соответствии с ГОСТ 2.120-2013. Межгосударственный стандарт. Единая система конструкторской документации технический проект, не включается в технический проект.

#### **3.3.8.4. Выполняемые работы**

- разработка частного технического задания на систему управления магнитной системы ускорительно-накопительного комплекса исследовательской установки «СИЛА» (этап 1 календарного плана);

- разработка технического проекта на систему управления магнитной системы ускорительно-накопительного комплекса исследовательской установки «СИЛА» (этап 1 календарного плана).

3.3.8.5. Требования к выполняемым работам

3.3.8.5.1. Частное техническое задание на систему управления магнитной системы должно быть разработано в соответствии с требованиями ГОСТ 34.602-2020. ИТ. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Техническое задание на создание автоматизированной системы.

3.3.8.5.2. Технический проект на систему управления магнитной системы должен быть разработан в соответствии с требованиями ГОСТ 2.120-2013. Межгосударственный стандарт. Единая система конструкторской документации технический проект и ГОСТ 34.201-2020. Информационные технологии. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Виды, комплектность и обозначение документов при создании автоматизированных систем.

3.3.8.5.3. Материалы технического проекта должны включать в себя документы, указанные в п. 2.2.1. настоящего технического задания.

### **3.3.9. Технический проект системы диагностики пучка в ускорительно-накопительном комплексе исследовательской установки «СИЛА»**

3.3.9.1. Объем выполнения работ

Выполняемые работы в части разработки технического проекта системы диагностики пучка должны включать в себя и охватывать:

- блоки электроники, предназначенные для обработки информации с датчиков диагностики пучка, расположенных на вакуумной камере;
- датчики системы диагностики пучка, которые не устанавливаются на вакуумной камере;
- требования к инфраструктуре системы диагностики пучка комплекса;
- инфраструктуру информационной интеграции блоков электроники системы диагностики пучка;
- инфраструктуру синхронизации блоков электроники системы диагностики пучка;
- вычислительную инфраструктуру системы диагностики пучка комплекса;
- программное обеспечение системы блоков электроники и систем диагностики пучка.

3.3.9.2. Границы системы диагностики пучка

Границы проходят:

- с системой технологической синхронизации по синхро-разъемам блоков электроники на нижнем уровне;
- с системой управления по порту Ethernet на верхнем уровне;
- с системой энергоснабжения по силовым-разъемам блоков электроники либо по силовым разъемам выпрямителей;
- с датчиками и другим технологическим оборудованием по разъемам датчиков и технологического оборудования.

При необходимости границы системы диагностики пучка уточняются при разработке технического задания.

3.3.9.3. Перечень устройств, подлежащих разработке, и основные требования к ним

Проектом необходимо определить состав и комплектность технических средств систем диагностики пучка. Блоки электроники и датчики не входят в предмет настоящего технического задания.

#### 3.3.9.4. Выполняемые работы

- разработка частного технического задания на систему диагностики пучка ускорительно-накопительного комплекса исследовательской установки «СИЛА» (этап 1 календарного плана);

- разработка технического проекта на систему диагностики пучка ускорительно-накопительного комплекса исследовательской установки «СИЛА» (этап 1 календарного плана).

#### 3.3.9.5. Требования к выполняемым работам

3.3.9.5.1. Частное техническое задание на систему диагностики пучка должно быть разработано в соответствии с требованиями ГОСТ 34.602-2020. ИТ. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Техническое задание на создание автоматизированной системы.

3.3.9.5.2. Технический проект на систему диагностики пучка должен быть разработан в соответствии с требованиями ГОСТ 2.120-2013 Межгосударственный стандарт. Единая система конструкторской документации технический проект и ГОСТ 34.201 2020. Информационные технологии. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Виды, комплектность и обозначение документов при создании автоматизированных систем.

3.3.9.5.3. Материалы технического проекта должны включать в себя документы, указанные в п. 1.2.1. настоящего технического задания.

### 3.4. Требования надежности

3.4.1. Требования надежности к прототипу системы ВЧ синхронизации, прототипу системы технологической синхронизации, прототипу системы управления магнитной системой.

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

Назначенный срок службы: не менее 3 лет.

Срок хранения со дня отгрузки до ввода в эксплуатацию: не более 12 месяцев.

Средняя наработка до отказа: не менее 20 000 часов.

Работоспособность и непрерывность работы: не менее 340 календарных дней/год.

Среднее время восстановления: не более 8 часов.

Показатели надежности подтверждаются работоспособностью оборудования на объекте заказчика (по согласованию с заказчиком показатели надежности могут быть подтверждены расчетным методом).

3.4.2. Требования надежности к экспериментальному образцу стенда для калибровки датчиков и измерения положения пучка

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

Срок хранения со дня отгрузки до ввода в эксплуатацию: не более 12 месяцев.

Средняя наработка до отказа: не менее 8 000 часов.

Работоспособность и непрерывность работы: не менее 340 календарных дней/год.

Среднее время восстановления: не более 8 часов.

Показатели параметров надежности экспериментальному образцу стенда для калибровки датчиков и измерения положения пучка могут быть уточнены на этапе разработки технического проекта.

3.4.3. Требования надежности к экспериментальному образцу блока имитации положения электронного и фотонного пучков (БИП) в ускорительно-накопительном комплексе исследовательской установки «СИЛА»

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

Назначенный срок службы: не менее 3 лет.

Срок хранения со дня отгрузки до ввода в эксплуатацию: не более 12 месяцев.

Средняя наработка до отказа: не менее 20 000 часов.

Работоспособность и непрерывность работы: не менее 340 календарных дней/год.

### **3.5. Конструкционные требования**

3.5.1. Конструкционные требования к прототипу системы ВЧ синхронизации

3.5.1.1. Конструкция корпуса должна обеспечивать защиту обслуживающего персонала от случайного прикосновения к токоведущим частям, также его электромагнитную совместимость с цепями питания заказчика. Корпуса устройств должны быть заземлены.

3.5.1.2. Органы управления, размещённые на лицевой панели корпуса, должны обеспечивать выполнение функций местного управления, индикации и измерения.

3.5.1.3. Модули внешнего интерфейса, размещаемые в корпусе устройств по согласованию с заказчиком, должны обеспечивать удобство интеграции блоков в СИЛА-САУ.

3.5.2. Конструкционные требования к прототипу системы технологической синхронизации

3.5.2.1. Все модули и устройства прототипа системы технологической синхронизации выполняются в корпусе стандарта 19 дюймов, высота корпуса согласуется с заказчиком.

3.5.2.2. Конструкция корпуса должна обеспечивать защиту обслуживающего персонала от случайного прикосновения к токоведущим частям, также его электромагнитную совместимость с цепями питания. Корпуса изделий должны быть заземлены.

3.5.2.3. Органы управления, размещённые на лицевой панели корпуса, должны обеспечивать выполнение функций местного управления, индикации и измерения.

3.5.3. Конструктивные требования к прототипу системы управления магнитной системы

3.5.3.1. ИП BS выполняются в корпусе стандарта 19 дюймов, высота корпуса согласуется с заказчиком. ИП SC выполняются модулями, для возможности установки в несущее шасси (стойку, корпус) стандарта 19 дюймов, высота корпуса согласуется с заказчиком. Конструкция корпуса должна обеспечивать защиту обслуживающего персонала от случайного прикосновения к токоведущим частям ИП, также его электромагнитную совместимость с цепями питания заказчика. Корпус источника должен быть заземлён.

3.5.3.2. Органы управления, размещённые на лицевой панели корпуса, должны обеспечивать выполнение функций местного управления, индикации и измерения.

3.5.3.3. Блок внешнего интерфейса, размещаемый в корпусе источника по согласованию с заказчиком, должен обеспечивать удобство интеграции ИП в СИЛА-САУ.

3.5.3.4. Силовые терминалы на корпусе ИП необходимо разместить на задней поверхности источников. Для источников ИП BS необходимо обеспечить возможность

замены силовых модулей без отсоединения кабельных проводок и без необходимости доступа персонала к задней поверхности источника.

3.5.4. Конструкционные требования к экспериментальному образцу стенда для калибровки датчиков

3.5.4.1. Электронные компоненты экспериментального образца стенда конструктивно должны располагаться в корпусе стандарта 19 дюймов, либо в стойке лабораторной 19 дюймов. Высота корпуса согласуется с Заказчиком.

3.5.4.2. Органы управления, размещённые на лицевой панели модулей, должны обеспечивать выполнение функций местного управления, индикации и измерения.

3.5.5. Конструктивные требования к экспериментальному образцу блока имитации положения электронного и фотонного пучков

3.5.5.1. БИП конструктивно должен располагаться в корпусе стандарта 19 дюймов, высота корпуса согласуется с Заказчиком. Конструкция корпуса должна обеспечивать защиту обслуживающего персонала от случайного прикосновения к токоведущим частям ИП, также его электромагнитную совместимость с цепями питания. Корпус источника должен быть заземлён.

3.5.5.2. Органы управления, размещённые на лицевой панели корпуса, должны обеспечивать выполнение функций местного управления, индикации и измерения.

### **3.6. Требования к эксплуатации, удобству технического обслуживания и ремонта**

Для прототипов и экспериментальных образцов элементов системы управления ускорительно-накопительного комплекса исследовательской установки «СИЛА» должна быть предусмотрена необходимая доступность к отдельным составным частям оборудования для технического обслуживания и ремонта без демонтажа других составных частей.

### **3.7. Требования по транспортированию и хранению**

Разрабатываемые прототипы и экспериментальные образцы элементов системы управления ускорительно-накопительного комплекса исследовательской установки «СИЛА» должны транспортироваться в индивидуальной упаковке. Условия транспортирования должны соответствовать в части воздействия климатических факторов внешней среды группе 2(С) ГОСТ 15150-69. Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды, в части воздействия механических факторов - группе С ГОСТ 23216-78. Изделия электротехнические. Хранение, транспортирование, временная противокоррозионная защита, упаковка. Общие требования и методы испытаний. Допускается транспортировка БИП в составе шкафов.

Конструкция составных частей прототипов и экспериментальных образцов элементов системы управления ускорительно-накопительного комплекса исследовательской установки «СИЛА» должна обеспечивать их транспортирование в ящиках всеми видами транспорта.

Хранение прототипов и экспериментальных образцов элементов системы управления ускорительно-накопительного комплекса исследовательской установки «СИЛА» и их составных частей должно осуществляться в условиях хранения 1(Л) по ГОСТ 1515069. Межгосударственный стандарт. Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия

эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды (в отапливаемом хранилище) при температуре воздуха от плюс 5 до плюс 40 °С и относительной влажности не более 80 % при 25 °С.

### **3.8. Требования 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.

### **3.9. Требование стойкости к внешним воздействиям**

3.9.1. Требование стойкости к внешним воздействиям к прототипу системы ВЧ синхронизации, прототипу системы технологической синхронизации, прототипу источника питания магнитов, экспериментальному образцу блока имитации положения электронного и фотонного пучков (БИП) ускорительно-накопительного комплекса исследовательской установки «СИЛА»

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

3.9.2. Требование стойкости к внешним воздействиям к экспериментальному образцу стенда для калибровки датчиков и измерения положения пучка.

По стойкости и устойчивости к внешним воздействиям система диагностик должна соответствовать нормальным условиям эксплуатации (климатическое исполнение УХЛ4.2 по ГОСТ 15150 69 Межгосударственный стандарт. Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды):

- рабочие значения температуры окружающего воздуха от плюс 10 °С до плюс 40 °С;
- относительная влажность воздуха от 20 % до 70 % при температуре плюс 35 °С;
- атмосферное давление от 84 до 106,7 кПа (630 - 800 мм рт. ст.).

### **3.10. Требования электромагнитной совместимости**

3.10.1. Требования электромагнитной совместимости к прототипу системы ВЧ синхронизации, прототипу системы технологической синхронизации, прототипу источника питания магнитов ускорительно-накопительного комплекса исследовательской установки «СИЛА»

Требования к электромагнитной совместимости должны быть разработаны на этапе разработки эскизной конструкторской документации.

Требования к устойчивости и электромагнитным помехам должны быть разработаны на этапе разработки технического проекта.

3.10.2. Требования электромагнитной совместимости к экспериментальному образцу стенда для калибровки датчиков и измерения положения пучка ускорительно-накопительного комплекса исследовательской установки «СИЛА»

Требования к электромагнитной совместимости могут быть уточнены на этапе разработки эскизной конструкторской документации, но не позднее, чем за 2 месяца до окончания этапа 2.

### 3.10.2.1. Устойчивость к электромагнитным помехам

ЭОС должен быть устойчив к электромагнитным помехам:

- микросекундные импульсные помехи большой энергии по ГОСТ Р 51317.4.5-99 (МЭК 61000-4-5-95). Государственный стандарт Российской Федерации. Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к микросекундным импульсным помехам большой энергии. Требования и методы испытаний (порты электропитания переменного тока, порты ввода-вывода);
- динамические изменения напряжения электропитания по ГОСТ 30804.4.11-2013 (IEC 61000-4-11:2004)/[ГОСТ Р 51317.4.11-2007 (МЭК 61000-4-11:2004)]. Межгосударственный стандарт. Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к провалам, кратковременным прерываниям и изменениям напряжения электропитания. Требования и методы испытаний (входные порты электропитания переменного тока);
- наносекундные импульсные помехи по ГОСТ 30804.4.4-2013 (IEC 61000-4-4:2004)/[ГОСТ Р 51317.4.4-2007 (МЭК 61000-4-4:2004)]. Межгосударственный стандарт. Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к наносекундным импульсным помехам. Требования и методы испытаний (порты электропитания переменного тока, ввода-вывода и заземления);
- электростатические разряды по ГОСТ 30804.4.2-2013 (IEC 61000-4-3:2006)/[ГОСТ Р 51317.4.3-2006 (МЭК 61000-4-3:2006)]. Межгосударственный стандарт. Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к радиочастотному электромагнитному полю. Требования и методы испытаний (порты корпуса);
- радиочастотные электромагнитные поля по ГОСТ 30804.4.3-2013 (IEC 61000-4-3:2006)/[ГОСТ Р 51317.4.3-2006 (МЭК 61000-4-3:2006)]. Межгосударственный стандарт. Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к радиочастотному электромагнитному полю. Требования и методы испытаний (порты корпуса);
- магнитное поле промышленной частоты по ГОСТ Р 50648-94 (МЭК 1000-4-8-93). Государственный стандарт Российской Федерации. Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к магнитному полю промышленной частоты. Технические требования и методы испытаний (порт корпуса);
- импульсное магнитное поле по ГОСТ 30336-95 Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к импульсному магнитному полю. Технические требования и методы испытаний (порт корпуса);
- кондуктивные помехи, наведенные радиочастотными электромагнитными полями по ГОСТ Р 51317.4.6-99 (МЭК 61000-4-6-96). Государственный стандарт Российской Федерации. Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к кондуктивным помехам, наведенным радиочастотными электромагнитными полями. Требования и методы испытаний (порты электропитания переменного тока и ввода-вывода);
- одиночные колебательные затухающие помехи по ГОСТ 30804.4.12-2002 (МЭК 61000-4-12:1995) Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к колебательным затухающим помехам. Требования и методы испытаний (порты электропитания переменного тока);

- колебания напряжения электропитания по ГОСТ Р 51317.4.14-2000 (МЭК 61000-4-14-99). Государственный стандарт Российской Федерации. Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к колебаниям напряжения электропитания. Требования и методы испытаний (входные порты электропитания переменного тока);
- кондуктивные помехи в полосе частот от 0 до 150 кГц по ГОСТ Р 51317.4.16-2000 (МЭК 61000-4-16-98). Государственный стандарт Российской Федерации. Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к кондуктивным помехам в полосе частот от 0 до 150 кГц. Требования и методы испытаний (порты электропитания переменного тока, порты ввода-вывода);
- изменение частоты в системах электроснабжения по ГОСТ Р 51317.4.28-2000 (МЭК 61000-4-28-99). Государственный стандарт Российской Федерации. Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к изменениям частоты питающего напряжения. Требования и методы испытаний (входные порты электропитания переменного тока);
- искажение синусоидальности напряжения электропитания по ГОСТ 30804.4.13-2013 Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к искажениям синусоидальности напряжения электропитания, включая передачу сигналов по электрическим сетям. Требования и методы испытаний (входные порты электропитания переменного тока).

### 3.10.2.2. Электромагнитная совместимость в части помехоэмиссии

Экспериментальный образец стенда для калибровки датчиков и измерения положения пучка должен соответствовать следующим требованиям по электромагнитной совместимости в части помехоэмиссии:

- напряженность поля промышленных радиопомех от ТС при измерительном расстоянии 10 м в полосе частот от 30 до 1000 МГц по ГОСТ 30804.6.4-2013 (IEC 61000-6-4:2006). Межгосударственный стандарт. Совместимость технических средств электромагнитная. Электромагнитные помехи от технических средств, применяемых в промышленных зонах. Нормы и методы испытаний (порт корпуса);
- напряжение промышленных радиопомех от ТС в полосе частот от 0,15 до 30 МГц (входные порты электропитания переменного тока) по ГОСТ 30804.6.4. Совместимость технических средств электромагнитная. Электромагнитные помехи от технических средств, применяемых в промышленных зонах. Нормы и методы испытаний;
- общее несимметричное напряжение и общий несимметричный ток промышленных радиопомех на портах связи ТС в полосе от 0,15 до 30 МГц по ГОСТ 30804.6.4. Совместимость технических средств электромагнитная. Электромагнитные помехи от технических средств, применяемых в промышленных зонах. Нормы и методы испытаний;
- гармонические составляющие тока, потребляемого ТС из сети электропитания по ГОСТ 30804.3.2-2013 (IEC 61000-3-2:2009). Межгосударственный стандарт. Совместимость технических средств электромагнитная. Эмиссия гармонических составляющих тока техническими средствами с потребляемым током не более 16 А (в одной фазе). Нормы и методы испытаний;
- колебания напряжения, вызываемые ТС в сети электропитания по ГОСТ 30804.3.3 -2013 (IEC 61000-3-3:2008). Межгосударственный стандарт. Совместимость технических средств электромагнитная. Ограничение изменений напряжения, колебаний напряжения и фликера в низковольтных системах электроснабжения общего назначения. Технические средства с потребляемым током не более 16 А (в одной фазе), подключаемые к

электрической сети при несоблюдении определенных условий подключения. Нормы и методы испытаний.

3.10.3. Требования электромагнитной совместимости к экспериментальному образцу блока имитации положения электронного и фотонного пучков ускорительно-накопительного комплекса исследовательской установки «СИЛА»

Требования к электромагнитной совместимости должны быть разработаны на этапе разработки технического проекта.

Требования к устойчивости и электромагнитным помехам должны быть разработаны на этапе разработки эскизной конструкторской документации.

### **3.11. Требования эргономики и технической эстетики**

Конструктивные решения при разработке прототипов и экспериментальных образцов элементов системы управления ускорительно-накопительного комплекса исследовательской установки «СИЛА» должны обеспечивать удобство эксплуатации, доступ ко всем сменным разъемам модулей для их отключения и/или подключения.

### **3.12. Требования к сырью, материалам**

3.12.1. Требования к сырью, материалам прототипа системы ВЧ синхронизации, прототипа системы технологической синхронизации, прототипа источника питания магнитов ускорительно-накопительного комплекса исследовательской установки «СИЛА».

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-

3.12.2. Требования к сырью, материалам экспериментального образца стенда для калибровки датчиков и измерения положения пучка, экспериментального образца блока имитации положения электронного и фотонного пучков ускорительно-накопительного комплекса исследовательской установки «СИЛА».

Не предъявляются.

### **3.13. Требования к консервации, упаковке и маркировке**

3.13.1. Требования к консервации, упаковке и маркировке прототипа ВЧ синхронизации, прототипа системы технологической синхронизации, прототипа источника питания магнитов ускорительно-накопительного комплекса исследовательской установки «СИЛА».

Требования к консервации, упаковке и маркировке и транспортировке согласно ГОСТ 23216-78. Государственный стандарт Союза ССР. Изделия электротехнические. Хранение, транспортирование, временная противокоррозионная защита, упаковка. Общие требования и методы испытаний.

3.13.2. Требования к консервации, упаковке и маркировке экспериментального образца стенда для калибровки датчиков и измерения положения пучка ускорительно-накопительного комплекса исследовательской установки «СИЛА».

Не предъявляются

3.13.3. Требования к консервации, упаковке и маркировке экспериментального образца блока имитации положения электронного и фотонного пучков ускорительно-накопительного комплекса исследовательской установки «СИЛА»

Требования к консервации, упаковке и маркировке и транспортировке согласно ГОСТ 23216-78. Государственный стандарт Союза ССР. Изделия электротехнические. Хранение, транспортирование, временная противокоррозионная защита, упаковка. Общие требования и методы испытаний.

#### **4. Техничко-экономические обоснования**

4.1. На втором этапе выполнения НИОКР Исполнителем разрабатываются «Ведомости покупных изделий, комплектующих, материалов, спецоборудования для выполнения НИОКР», содержащие полную информацию о приобретаемых изделиях, комплектующих, материалах и спецоборудовании, включая их технические характеристики, обоснование стоимости и предполагаемых поставщиков. Данные «Ведомости покупных изделий, комплектующих, материалов, спецоборудования для выполнения НИОКР» являются неотъемлемой частью контракта и могут корректироваться по согласованию Заказчика и Исполнителя.

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

Требования к программному обеспечению и отчетной документации согласно ГОСТ 19.001-77. Государственный стандарт Союза ССР. Единая система программной документации. Общие положения.

Эксплуатационная документация должна соответствовать требованиям ЕСКД.

Программная пользовательская документация должна соответствовать требованиям ЕСПД.

#### **6. Требования к видам обеспечения**

6.1. Требования к нормативно-техническому обеспечению

При разработке технических документов должны учитываться требования следующих документов:

- 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 Р 2.106-2019. Национальный стандарт Российской Федерации. Единая система конструкторской документации. Текстовые документы;
- ГОСТ 2.119-2013 Межгосударственный стандарт. Единая система конструкторской документации. Эскизный проект;
- ГОСТ 2.120-2013. Межгосударственный стандарт. Единая система конструкторской документации. Технический проект;
- ГОСТ Р 15.011-96. Государственный стандарт Российской Федерации. Система разработки и постановки продукции на производство. Патентные исследования. Содержание и порядок проведения;
- ГОСТ Р 2.601-2019. Национальный стандарт Российской Федерации. Единая система конструкторской документации. Эксплуатационные документы;
- ГОСТ 19.101-77\* (СТ СЭВ 1626-79). Государственный стандарт Союза ССР. Единая система программной документации. Виды программ и программных документов;
- ГОСТ 19.603-78\* (СТ СЭВ 2089-80). Государственный стандарт Союза ССР. Единая система программной документации. Общие правила внесения изменений.

#### 6.2. Требования к метрологическому обеспечению

При выполнении лабораторных испытаний экспериментального образца стенда для калибровки датчиков и измерения положения пучка требуется подтверждение:

- точности перемещения подвижных частей стенда за счет использования поверенного микрометра с ценой деления не более 1 мкм в диапазоне 1 мм;
- точности измерения напряжения на датчиках положения пучка поверенным вольтметром с точностью не менее 10 мВ в диапазоне  $\pm 12\text{В}$ .

#### 6.3. Требования к диагностическому обеспечению

Требования по самодиагностике экспериментального образца стенда для калибровки датчиков и измерения положения пучка предъявляются к драйверам шаговых двигателей, обеспечивающие индикацию и блокировку двигателей при неправильном подключении обмоток и недостаточном/избыточном токе на обмотках.

#### 6.4. Требования к программному и информационно-лингвистическому обеспечению

6.4.1. Требования к программному и информационно-лингвистическому обеспечению прототипа системы ВЧ синхронизации, прототипа системы технологической синхронизации, прототипа источника питания магнитов системы управления ускорительно-накопительного комплекса исследовательской установки «СИЛА»

При разработке программного обеспечения необходимо разработать и согласовать с Заказчиком требования к программному обеспечению прототипов:

- прикладное программное обеспечение прототипов;
- требования к структуре программ;
- требования к составу выполняемых функций;
- требования к информационной и программной совместимости.

6.4.2. Требования к программному и информационно-лингвистическому обеспечению экспериментального образца стенда для калибровки датчиков и измерения положения пучка

Разрабатываемое программное обеспечение должно обеспечивать внесение корректировок и модификаций.

Язык интерфейса - русский.

6.4.3. Требования к программному и информационно-лингвистическому обеспечению экспериментального образца блока имитации положения электронного и фотонного пучков (БИП)

Информационное обеспечение должно быть представлено в виде совокупности массивов в памяти ЭВМ, содержащей постоянную и переменную информацию.

Информационное обеспечение должно быть достаточным для выполнения всех функций БИП.

Информационное обеспечение должно обеспечивать решение следующих задач:

- идентификацию объектов управления и событий;
- формализацию представления данных;
- распределение данных между массивами и внутри них;
- поиск и получение данных;
- архивирование и хранение.

Язык выполнения документации для БИП - русский.

Язык выполнения человеко-машинного интерфейса БИП - русский.

Программное обеспечение БИП должно включать следующие виды программного обеспечения:

- общесистемное программное обеспечение (ОПО);
- прикладное программное обеспечение (ППО);
- инструментальное программное обеспечение (ИПО).

В состав ОПО должны входить:

- операционные системы;
- сервисные программы.

В состав ИПО должны входить:

- средства разработки и отладки БИП;
- готовые к использованию специализированные программные средства (Commercial off-the-shelf - COTS).

Поставляемые и устанавливаемые на БИП ИПО и ОПО должны быть достаточными для реализации всех функций БИП в объеме, предусмотренном настоящим техническим заданием.

Лицензии (не исключительные) на использование ИПО и ОПО должны входить в состав передаваемой документации к БИП.

В состав прикладного программного обеспечения (ППО) должны входить программы (в том числе программные средства) с соответствующей документацией на них, необходимые для реализации всех функций БИП в объеме, предусмотренном настоящим техническим заданием.

Исключительные лицензии на ППО должны быть переданы Заказчику.

ППО должно удовлетворять следующим требованиям:

- ППО должно быть функционально законченным;
- ППО должно использовать стандартные интерфейсы обмена данными;
- структура ППО должна быть модульной - должна позволять вводить коррекцию функциональных возможностей путем дополнения или исключения программных модулей;

- структура ППО должна позволять добавлять модули, разработанные сторонними разработчиками с использованием стандартных языков программирования: Python, C++ и др.;
- ППО должно быть модифицируемым.  
 ППО должно быть совместимо с ОПО.  
 ИПО должно быть совместимо с ОПО.

#### 6.5. Требования к математическому обеспечению

##### 6.5.1. Требования к математическому обеспечению прототипа системы ВЧ синхронизации

Математическое обеспечение должно содержать для каждого из элементов прототипа:

- математическое обоснование достигаемой точности поддержания выходной частоты и фазы.

##### 6.5.2. Требования к математическому обеспечению прототипа системы технологической синхронизации

Математическое обеспечение должно содержать для каждого из элементов прототипа:

- математическое обоснование достигаемой точности поддержания выходной частоты.

##### 6.5.3. Требования к математическому обеспечению прототипа системы управления магнитной системы

Математическое обеспечение должно содержать для каждого из элементов прототипа:

- математическое обоснование достигаемой точности поддержания выходного тока блоков преобразователей напряжений.

##### 6.5.4. Требования к математическому обеспечению экспериментального образца стенда для калибровки датчиков и измерения положения пучка

Не предъявляются.

##### 6.5.5. Требования к математическому обеспечению экспериментального образца блока имитации положения электронного и фотонного пучков

В состав математического обеспечения входят методы решения задач управления и моделирования, различающиеся по видам управляемых процессов (дискретные, непрерывные) и способам выбора управляющих воздействий (расчетные оптимизационные, формализованные эвристические) и алгоритмы реализации управляющих воздействий.

## 7. Этапы выполнения работ

№ п/п	Наименование этапа Содержание выполняемых работ	Результаты работ и отчетные документы	Сроки выполнения работ по этапу	
			Начало	Окончание

1.	1.1 Разработка частных технических заданий на системы: ВЧ синхронизации, технологической синхронизации, управления магнитной системой, диагностики пучка	Частное техническое задание на систему ВЧ синхронизации; Частное техническое задание на систему технологической синхронизации; Частное техническое задание на систему управления магнитной системой; Частное техническое задание на систему диагностики пучка.	С даты заключения Контракта	04.11.2024
	1.2 Разработка технических проектов систем: ВЧ синхронизации, технологической синхронизации, управления магнитной системой, диагностики пучка	Технический проект системы ВЧ синхронизации; Технический проект системы технологической синхронизации; Технический проект системы управления магнитной системой; Технический проект системы диагностики пучка.		
2.	2.1 Разработка эскизной конструкторской документации (далее – ЭКД) на прототип системы ВЧ синхронизации, в составе: -ЭКД на ГОЧ; -ЭКД на ЭОП; -ЭКД на ОР; -ЭКД на ПВЧС; -ЭКД на УМ; -ЭКД на ЭОП.  Разработка программы и методики приемочных испытаний прототипа	Комплект эскизной конструкторской документации. Ведомость покупных изделий. Программа и методика приемочных испытаний прототипа.	05.11.2024	03.02.2025

	<p>2.2 Разработка конструкторской документации на прототип системы технологической синхронизации, в составе:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ЭКД на ГУТСС;</li> <li>- ЭКД на МАС;</li> <li>- ЭКД на МГС;</li> <li>- ЭКД на МОУ высокоскоростного сегмента;</li> <li>- ЭКД на ОМТСС;</li> <li>- ЭКД на ОУТСС;</li> <li>- ЭКД на РКТСС.</li> </ul> <p>Разработка программы и методики приемочных испытаний прототипа</p>	<p>Комплект эскизной конструкторской документации.</p> <p>Ведомость покупных изделий.</p> <p>Программа и методика приемочных испытаний прототипа.</p>		
	<p>2.3. Разработка эскизной конструкторской документации на прототип системы управления магнитной системой УНК «СИЛА», в составе:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ЭКД на источник питания основных магнитов BS;</li> <li>- ЭКД на источник питания корректора SC.</li> </ul> <p>Разработка программы и методики приемочных испытаний прототипа</p>	<p>Комплект эскизной конструкторской документации.</p> <p>Ведомость покупных изделий.</p> <p>Программа и методика приемочных испытаний прототипа.</p>		

	<p>2.4 Разработка эскизной конструкторской документации на экспериментальный образец стенда для калибровки датчиков и измерения положения пучка.</p> <p>Разработка программы и методики приемочных испытаний экспериментального образца</p>	<p>Комплект эскизной конструкторской документации.</p> <p>Ведомость покупных изделий.</p> <p>Программа и методика приемочных испытаний экспериментального образца.</p>		
	<p>2.5 Разработка эскизной конструкторской документации на экспериментальный образец блока имитации положения электронного и фотонного пучков</p> <p>Разработка программы и методики приемочных испытаний экспериментального образца</p>	<p>Комплект эскизной конструкторской документации.</p> <p>Ведомость покупных изделий.</p> <p>Программа и методика приемочных испытаний экспериментального образца.</p>		

3	3.1 Разработка частного технического задания на прототип системы ВЧ синхронизации. Изготовление прототипа системы ВЧ синхронизации	Частное техническое задание на прототип системы ВЧ синхронизации; Акт изготовления прототипа ВЧ синхронизации; Руководство по эксплуатации на прототип ВЧ синхронизации; Паспорт на прототип ВЧ синхронизации; Акт и протокол проведения приемочных испытаний; Акт о приеме-передаче объектов нефинансовых активов (ОКУД 0510448); Раздел научно-технического отчета.	04.02.2025	01.10.2025
---	---	---	------------	------------

	<p>3.2 Разработка частного технического задания на прототип системы технологической синхронизации. Изготовление прототипа системы технологической синхронизации</p>	<p>Частное техническое задание на прототип системы технологической синхронизации. Акт изготовления прототипа системы технологической синхронизации; Руководство по эксплуатации на прототип системы технологической синхронизации; Паспорт на прототип системы технологической синхронизации; Акт и протокол проведения приемочных испытаний; Акт о приеме-передаче объектов нефинансовых активов (ОКУД 0510448); Раздел научно-технического отчета.</p>		
--	---	--	--	--

	<p>3.3 Разработка частного технического задания на прототип системы управления магнитной системой. Изготовление прототипа системы управления магнитной системой</p>	<p>Частное техническое задание на прототип системы управления магнитной системой. Акт изготовления прототипа системы управления магнитной системой; Паспорт на прототип системы управления магнитной системой; Руководство по эксплуатации на прототип системы управления магнитной системой; Акт и протокол проведения приемочных испытаний; Акт о приеме-передаче объектов нефинансовых активов (ОКУД 0510448); Раздел научно-технического отчета.</p>		
--	---	--	--	--

	<p>3.4 Разработка частного технического задания на экспериментальный образец стенда для калибровки датчиков и измерения положения пучка.</p> <p>Изготовление экспериментального образца стенда для калибровки датчиков и измерения положения пучка</p>	<p>Частное техническое задание на экспериментальный образец стенда для калибровки датчиков и измерения положения пучка;</p> <p>Акт изготовления экспериментального образца стенда для калибровки датчиков и измерения положения пучка;</p> <p>Паспорт на экспериментальный образец стенда для калибровки датчиков и измерения положения пучка;</p> <p>Руководство по эксплуатации на экспериментальный образец стенда для калибровки датчиков и измерения положения пучка;</p> <p>Акт и протокол проведения приемочных испытаний;</p> <p>Акт о приеме-передаче объектов нефинансовых активов (ОКУД 0510448);</p> <p>Раздел научно-технического отчета.</p>		
--	--	--	--	--

	<p>3.5 Изготовление экспериментального образца блока имитации положения электронного и фотонного пучков</p>	<p>Акт изготовления экспериментального образца блока имитации положения электронного и фотонного пучков;  Паспорт на экспериментальный образец блока имитации положения электронного и фотонного пучков;  Руководство по эксплуатации на экспериментальный образец блока имитации положения электронного и фотонного пучков;  Акт и протокол проведения приемочных испытаний;  Акт о приеме-передаче объектов нефинансовых активов (ОКУД 0510448);  Раздел научно-технического отчета.</p>		
--	---	--	--	--

	3.6. Разработка программной документации для прототипов и экспериментальных образцов	Программная документация на используемое программное обеспечение в электронной форме на электронном носителе; Программная документация на используемое программное обеспечение на бумажном носителе, в том числе лицензии (не исключительные), лицензии исключительные; Предустановленное программное обеспечение; Акты приема-передачи неисключительных прав на программное обеспечение; Акты приема-передачи исключительных прав на программное обеспечение.		
	3.7. Разработка научно-технического отчета	Научно-технический отчет		

## 8. Порядок выполнения работ

8.1. Выполнение и приемка этапов настоящей СЧ НИОКР, проводятся в соответствии с ГОСТ 15.301-2016. Национальный стандарт Российской Федерации. Система разработки и постановки продукции на производство. Продукция производственно-технического назначения. Порядок разработки и постановки продукции на производство. Выполнение и приемка КД этапов настоящей СЧ НИОКР проводятся в соответствии с ГОСТ 2.103-2013. Межгосударственный стандарт. Единая система конструкторской документации. Стадии разработки, ГОСТ 2.118-2013. Межгосударственный стандарт. Единая система конструкторской документации. Техническое предложение, ГОСТ 2.119-2013. Межгосударственный стандарт. Единая система конструкторской документации. Эскизный проект, ГОСТ 2.120-2013. Межгосударственный стандарт. Единая система конструкторской документации. Технический проект.

Выполнение этапов настоящей СЧ НИОКР в части разработки технических заданий и технических проектов проводятся, в том числе в соответствии с ГОСТ 34.201 2020 Информационные технологии. Комплекс стандартов на автоматизированные

системы. Виды, комплектность и обозначение документов при создании автоматизированных систем, а также ГОСТ 34.602-2020. ИТ. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Техническое задание на создание автоматизированной системы.

Все изготовленные прототипы и экспериментальные образцы должны пройти приёмочные испытания на территории Исполнителя в присутствии уполномоченных представителей Заказчика. При необходимости приёмочные испытания могут производиться на территории, предложенной Заказчиком в присутствии уполномоченных представителей Исполнителя. Программы и методики приёмочных испытаний по каждому прототипу и экспериментальному образцу разрабатываются Исполнителем и утверждаются Заказчиком.

11.2. Настоящее Техническое задание может уточняться и дополняться совместным решением Исполнителя и Заказчика, в форме дополнения к техническому заданию в соответствии с ГОСТ 15.016-2016. Межгосударственный стандарт. Система разработки и постановки продукции на производство. Техническое задание. Требования к содержанию и оформлению.

11.3. Исполнитель по окончании выполнения НИОКР (отдельных этапов НИОКР) передает Заказчику отчетную документацию и результаты работы в соответствии с настоящим техническим заданием и формирует в единой информационной системе (далее – ЕИС) документ о приемке.

11.4. Заказчик в течение 20 (двадцати) рабочих дней со дня получения документов, указанных в пункте 10 настоящего Технического задания, осуществляет приемку результатов выполненной Исполнителем НИОКР (отдельных этапов НИОКР) по контракту на предмет соответствия её требованиям и условиям контракта и Технического задания.

11.5. Отчётная документация (по п.10 настоящего Технического задания) передается Заказчику в бумажном виде в 2-х экземплярах (учтенная копия в сброшюрованном виде) и в электронном виде на электронных носителях. Документация в электронном виде сдается в форматах тех программных продуктов, с помощью которых она создавалась, и в отсканированном виде в формате PDF.

## **9. Срок предоставления качества работ**

12 месяцев с даты подписания Заказчиком в единой информационной системе документа о приемке третьего этапа работ.

**Базовые математические зависимости для реализации  
модели имитации положения пучка**

Формула расчета математической модели представляет собой расчет 4х параметров: координат электронов ( $x$ ,  $y$ ) в мкм и углов электронов ( $x'$ ,  $y'$ ) мрад. Для каждого элемента расчет ведется в соответствии со следующей формулой:

$$\begin{matrix} x \\ x' \\ y \\ y' \end{matrix} = \begin{matrix} \cos(k_x \times l) & \frac{\sin[(k)_x \times l]}{k_x} & 0 & 0 \\ -k_x \times \sin[(k)_x \times l] & \cos(k_x \times l) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \cos(k_y \times l) & \frac{\sin[(k)_y \times l]}{k_y} \\ 0 & 0 & -k_y \times \sin[(k)_y \times l] & \cos(k_y \times l) \end{matrix} \times \begin{matrix} x_0 \\ x'_0 \\ y_0 \\ y'_0 \end{matrix} \quad (1)$$

Для прямолинейных промежутков коэффициенты определяются следующим отношением:

$$k_x = k_y = 0 \quad (2)$$

Для линз Q1, Q2 должно соблюдаться выполнение следующих формул:

$$k_x = \sqrt{k} \quad (3)$$

$$k_y = \sqrt{-k} \quad (4)$$

При этом, значение  $k$  определяется следующим отношением:

$$k = \frac{0.2998}{p \times (GeV \div c)} \times \frac{2 \times \mu_0 \times n \times l}{a_f^2} \quad (5)$$

где параметры  $p$ ,  $G$ ,  $eV$ ,  $c$ ,  $\mu$ ,  $n$  и  $a_f$  постоянны для каждого магнита и должны определяться конфигурационными параметрами для каждой из линз Qx (данные параметры загружаются 1 раз и не меняются во время работы).  $l$  - переменная, которая должна передаваться из имитатора при помощи протокола или API (данный параметр меняется в процессе работы. Данный параметр задается от системы управления по Ethernet). Изменение конфигурационных параметров допускается выполнять из приложения или веб интерфейса.

Математическая модель (или ее приложение) должна выполнять следующие функции:

1. Считывать и хранить конфигурационные параметры для формул 2 - 5;
2. Задавать начальное значение параметров координат: координат электронов ( $x$ ,  $y$ ) в мкм и углов электронов ( $x'$ ,  $y'$ ) мрад;
3. Вычисление значение координат на линейных промежутках с учетом формул 1 и 2;
4. Получение значения токов ( $I$ ) для магнитных элементов и вычисление значение координат с использованием формул 1, 3, 4, 5 с учетом заданного тока  $I$  и конфигурационных параметров;
5. Выдача промежуточных значений координат электронов ( $x$ ,  $y$ ) на датчиках положения;

6. Заикливание пролета электронов (выход блока расчета всех элементов должен подаваться на вход блока расчетов после окончания расчетов всех элементов).