

Разработка и изготовление прототипа микротомографического сканера

1. Цели и основные задачи выполнения СЧ НИОКР

1.1. Целью выполнения работы является разработка конструкции и изготовление прототипа микротомографического сканера. Результаты выполнения работы позволят отработать технологии изготовления и уточнить конечные характеристики томографических сканеров для экспериментальных синхротронных станций визуализации.

1.2. Достижение поставленной цели обеспечивается решением следующих задач:

1.2.1. Разработка документации:

- эскизная конструкторская документация на прототип микротомографического сканера;

- расчет;

- пояснительная записка;

- конструкторская документация технического проекта на прототип микротомографического сканера;

- акт изготовления прототипа микротомографического сканера;

- программа и методика испытаний прототипа микротомографического сканера;

- акт и протокол испытаний прототипа микротомографического сканера;

- отчет о выполненных работах.

1.2.2. Изготовление прототипа микротомографического сканера.

1.2.3. Испытания прототипа микротомографического сканера.

2. Сроки выполнения

2.1. Начало работ: с даты заключения контракта

2.2. Окончание работ: 31.05.2026

3. Общая характеристика

3.1. Разрабатываемый в ходе выполнения работ прототип микротомографического сканера предназначен для апробации и отработки технологий и методов получения рентгеновских томограмм с субмикронным разрешением на источниках синхротронного излучения. Результаты выполнения работы послужат основой для создания томографических сканеров с субмикронным разрешением для экспериментальных синхротронных станций визуализации.

Общая схема проведения микротомографического эксперимента выглядит следующим образом: образец вводится в пучок рентгеновского излучения на поворотном столе, ось поворотного стола выставляется строго вертикально, проекция регистрируется и записывается специализированным матричным рентгеновским детектором с субмикронным размером пикселя, образец поворачивается на фиксированный угол, записывается следующая проекция и так далее, до момента набора объема данных достаточных для проведения математической реконструкции. При решении задачи томографической реконструкции плотности необходимо, чтобы изображение каждой точки объекта от проекции к проекции перемещались по траектории, не выходящей из 1 строки пикселей матрицы детектора. В таком случае,

проекции всех точек образца от измерения к измерению смещаются по прямой линии. В таких условиях алгоритмы томографической реконструкции дают наилучшее разрешение, ограниченное только размером пикселя детектора.

Реализация метода рентгеновской микротомографии с субмикронным разрешением требует разработки специального томографического сканера, отличительной особенностью которого являются высокие требования к точностям позиционирования, ортогональности осей трансляции и малым биениям поворотной оси сканирования.

Основной задачей разрабатываемого микротомографического сканера является контролируемое вращение образца на 180° и более градусов во круг оси, выводимой дополнительными электромеханическими осями строго параллельно плоскости детектирующего массива пикселей/сцинтиллятора. В состав микротомографа также должны входить оси линейной трансляции, обеспечивающие первичное позиционирование сканируемого объекта в пучке.

4. Технические требования к прототипу микротомографического сканера

4.1. Состав прототипа микротомографического сканера.

4.1.1. Полноповоротный электромеханический стол с токосъемником, обратной связью по угловому положению и монтажной плоскостью для крепления образца, перпендикулярной оси вращения (**ось С**), обеспечивающий контролируемое вращение объектов в процессе сканирования.

4.1.2. Поворотный стол со сдвоенными угловыми электромеханическими взаимоперпендикулярными осями с общим центром вращения (**оси А, В**), позволяющими установить **ось С** в строго вертикальное положение.

4.1.3. Электромеханическая ось продольного линейного перемещения (**ось Y**), позволяющая выбрать область сканирования исследуемого объекта и провести его первичное позиционирование относительно пучка синхротронного излучения.

4.1.4. Электромеханическая ось линейного вертикального перемещения с обратной связью по линейному смещению положения (**ось Z**), позволяющая выбрать область сканирования исследуемого объекта и провести его первичное позиционирование относительно пучка синхротронного излучения.

4.1.5. Контроллер управления движением, обеспечивающий питание систем обратной связи и согласованную работу позиционеров.

4.2. Требования назначения

4.2.1. Прототип микротомографического сканера должен обеспечивать:

4.2.1.1. Вращение сканируемого объекта вокруг вертикальной **оси С** с высокой точностью траектории, достигаемой за счет параметров, приведенных в пункте 4.2.2.

4.2.1.2. Угловое позиционирование сканируемого объекта вокруг вертикальной **оси С** с высокой точностью, достигаемой за счет параметров, приведенных в пункте 4.2.2.

4.2.1.3. Изменение угловой позиции по двум взаимно перпендикулярным осям, плоскости поворота которых содержат в себе ось вращения **оси С**.

4.2.1.4. Совместное линейное перемещение **осей А, В, С** в вертикальной и горизонтальных плоскостях с заданными параметрами.

4.2.1.5. Подвод сигнальных контактов к монтажной плоскости **оси С**.

4.2.1.6. Управление позиционерами, с помощью высокоинтегрированного комплексного контроллера движения с интегрированными драйверами.

4.2.2. Основные технические характеристики прототипа микротомографического сканера.

4.2.2.1. Общие технические параметры

Количество электромеханических осей в сканере	5 шт.
Максимальный вес сканируемых объектов	не менее 2 кг
Максимальная высота сканируемых объектов	не менее 80 мм
Максимальный диаметр сканируемых объектов	не менее 20 мм
Контроллер управления движением	наличие

4.2.2.2. Технические параметры поворотного стола (оси С)

Диапазон перемещений	$\pm 360^\circ$ (бесконечный)
Максимальная частота вращения	не менее 30 об/мин
Крутящий момент двигателя в непрерывном режиме работы	не менее 0,2 Нм
Давление подводимого к поворотному столу воздуха	не более 10 атм
Степень фильтрации подводимого к поворотному столу воздуха	не менее 0,01 мкм
Ошибка позиционирования	не более $\pm 0,0008^\circ$
Система обратной связи	на основе оптического датчика углового смещения
Разрешение обратной связи	не более $0,0001^\circ$
Тип энкодера	AqB, инкрементальный
Максимальная рабочая частота энкодера	50 МГц
Интерфейс коммуникации энкодера	RS-422
Дополнительные параметры системы обратной связи	отслеживание состояния подключения энкодера и линии связи.
Напряжение питания энкодера	5 В
Осевое биение	не более 0,2 мкм
Радиальное биение	не более 0,3 мкм
Тип двигателя	синхронный электродвигатель прямого действия
Максимальный диаметр поворотного стола	не более 190 мм
Высота поворотного стола	не более 120 мм

4.2.2.3. Технические параметры двойных поворотных осей наклонного стола (оси А, В)

Число степеней свободы поворотного стола	2
Тип двигателей	биполярные шаговые двигатели
Число полных шагов каждого двигателя на оборот	не более 400
Рабочее напряжение каждого двигателя	не более 65 В
Номинальный потребляемый ток каждого двигателя в режиме перемещения	не более 3 А
Максимальная нагрузка на стол	не менее 100 Н
Габариты рабочей поверхности (ШхГ)	не более 130 мм x 130 мм
Центр вращения угловых осей	общий
Высота центра вращения над рабочей плоскостью стола	не менее 70 мм
Диапазон перемещений по каждой оси	не менее $\pm 3^\circ$
Точность позиционирования каждой оси	не более $\pm 0.0097^\circ$ (± 35 угл. сек)
Повторяемость каждой оси	не более $\pm 0.0022^\circ$ (± 8 угл. сек.)

4.2.2.4 Технические параметры электромеханической оси продольного линейного перемещения (ось Y)

Тип двигателя	биполярный шаговый двигатель
Число полных шагов двигателя на оборот	не более 400
Рабочее напряжение двигателя	не более 65 В
Номинальный потребляемый ток двигателя в режиме перемещения	не более 2,5 А
Отклонение от перпендикулярности к оси Z	не более $0,02^\circ$
Диапазон перемещений	не менее 100 мм
Минимальное реализуемое смещение осей	не более 5 мкм
Отклонение прямолинейности движения на дистанции 5 мм в вертикальной плоскости, образуемой осями Y и Z	не более 3 мкм
Точность позиционирования на дистанции 5 мм	не более $\pm 2,5$ мкм

4.2.2.5 Технические параметры электромеханической оси вертикального линейного перемещения (ось Z)

Тип двигателя	биполярный шаговый двигатель
Число полных шагов двигателя на оборот	не более 400
Рабочее напряжение двигателя	не более 65 В
Номинальный потребляемый ток двигателя в режиме перемещения	не более 2,5 А
Отклонение от перпендикулярности к оси Y	не более 0,02°
Диапазон перемещений	не менее 100 мм
Минимальное реализуемое смещение осей	не более 5 мкм
Отклонение прямолинейности движения на дистанции 5 мм в вертикальной плоскости, образуемой осями Y и Z	не более 3 мкм
Точность позиционирования на дистанции 5 мм	не более ±2,5 мкм
Система обратной связи	на основе оптического датчика линейного смещения
Разрешение обратной связи	не более 0,00025 мм
Тип энкодера	AqB, инкрементальный
Максимальная рабочая частота энкодера	50 МГц
Интерфейс коммуникации энкодера	RS-422
Дополнительные параметры системы обратной связи	отслеживание состояния подключения энкодера и линии связи.
Напряжение питания энкодера	5 В

4.2.2.6 Контроллеры управления движением

Допустимое рабочее напряжения питания силовой части	не менее 12 В и не более 120 В
Число осей управления	не менее 4
Типы поддерживаемых двигателей	шаговые двух и трехфазные двигатели, двигатели постоянного тока, двух и трехфазные бесщёточные двигатели
Число микрошагов на 1 полный шаг шагового двигателя	не менее чем 512 микрошагов
Тип драйверов	интегрированные
Регулировка тока	динамическая
Тип встроенного усилителя импульсов силовой части системы управления	шиотно-импульсно модулированная трехфазная с перераспределением мощности
Несущая частота широтно-импульсной модуляции	не менее 18 кГц

драйверов	
Поддерживаемые стандарты систем обратной связи	AqB энкодеры с максимальной частотой до 50 МГц, интерфейсом коммуникации RS-422 и отслеживанием состояния подключения энкодера и линии связи
Протоколы общения контроллера с внешними системами	Ethernet, RS232
Встроенный объектно-ориентированный язык программирования	ACSPL+
Расчетная траектория движения	траектория движения 3-го порядка с возможностью изменения конечной точки в процессе движения
Количество интерфейсов ввода с электрическим интерфейсом стандарта [+/-10 В] и разрешением 12bit	Не менее 1
Количество интерфейсов вывода с электрическим интерфейсом стандарта [+/-10 В] и разрешением 10bit с максимальной частотой обновления 1 кГц	Не менее 1
Цифровые сигналы	не менее 12 входов, не менее 16 выходов
Аналоговые сигналы	не менее 2 входов, не менее 2 выходов
Рабочая температура окружающей среды	в диапазоне от не более чем 10 до не менее чем 30 °С

4.3. Требования надёжности

Требования надёжности к прототипу микротомографического сканера не предъявляются.

4.4. Конструктивные требования

4.4.1. Кинематическая схема прототипа микротомографического сканера.

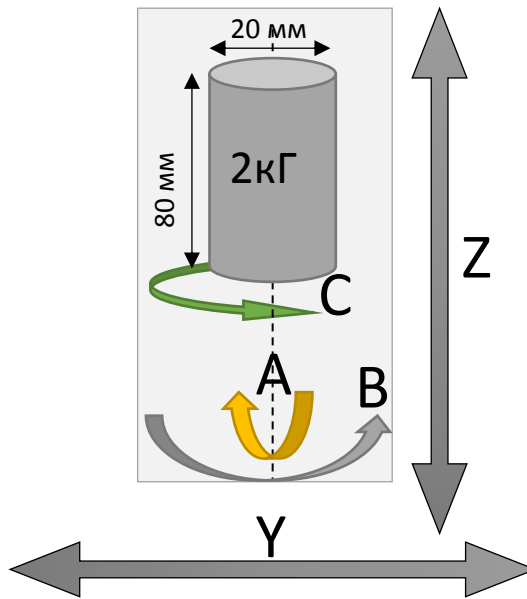


Рисунок 1. Кинематическая схема прототипа микротомографического сканера с подписанными названиями осей и параметрами полезной нагрузки.

4.4.2. Конструктивные требования к исполнению прототипа микротомографического сканера.

4.4.2.1. Поворотный стол (**ось С**) выполняется на основе самоустанавливающихся аэростатических опор с целью исключения износа в процессе эксплуатации и сохранения постоянной точности узла в процессе эксплуатации.

4.4.2.2. Поворотный стол (**ось С**) должен обеспечивать работу в режиме позиционирования.

4.4.2.3. Угловая позиция **оси С** определяется на основе данных обратной связи по оптическому датчику углового смещения.

4.4.2.4. Монтажная плоскость **оси С** должна иметь не менее 8 отверстий с метрической резьбой для установки сканируемых объектов и других систем на **ось С**.

4.4.2.5. Конструкция поворотного стола (**ось С**) должна предусматривать подвод через поворотный токосъемник к вращающейся рабочей поверхности не менее 6 сигнальных контактов для подключения дополнительных систем, устанавливаемых на столе.

4.4.2.6. Оси вращения угловых **осей А, В** должны быть перпендикулярны.

4.4.2.7. Оси вращения угловых **осей А, В** должны пересекать ось вращения поворотного стола **С**.

4.4.2.8. Диапазон вращения угловых **осей А, В** должен включать в себя точку, в которой оси вращения угловых **осей А, В** перпендикулярны с осью вращения поворотного стола **оси С**.

4.4.2.9. Угловые **оси А, В** должны иметь возможность обеспечивать вертикальное положение оси вращения **С**.

4.4.2.10. Основание и каретки суппортов линейных **осей Z, Y** должны быть выполнены из гранита для увеличения жёсткости и стабильности конструкции.

4.4.2.11. В качестве подшипников в **осях Z и Y** должны быть использованы прецизионные подшипники качения.

4.4.2.12. В качестве преобразователя вращательного движения электромотора в линейное смещение в осях **Z** и **Y** должны быть использованы прецизионные шарико-винтовые передачи.

4.4.2.13. В конструкции осей **Z** и **Y** должны использоваться промежуточные редукторы между электромотором и шарико-винтовой передачей.

4.4.2.14. Смещение оси **Z** должно определяться на основе данных обратной связи по оптическому датчику линейного смещения.

4.4.2.15. При разработке конструкции минимальная высота плоскости поворотного стола относительно основания оси **Y** должна быть минимизируемым параметром.

4.5. Требования к эксплуатации, хранению, удобству технического обслуживания и ремонта

4.5.1 Требования по стойкости к внешним воздействиям и условиям эксплуатации

Прототип микротомографического сканера должен эксплуатироваться в следующих условиях:

- температура воздуха в диапазоне от $20 \pm 1^\circ\text{C}$;
- относительная влажность воздуха в диапазоне от 0 до 70%;
- атмосферное давление в диапазоне от $8,6 \cdot 10^4$ до $10,6 \cdot 10^4$ Па, (в диапазоне от 645 до 795 мм рт. ст.), но в процессе одного измерения перепад давления должен составлять не более $\pm 0,2 \cdot 10^4$ Па;
- прототип должен устанавливаться на оптическом столе с виброизоляционным основанием.

4.5.2 Требования к эксплуатации, хранению и техническому обслуживанию

- прототип микротомографического сканера должен сохранять эксплуатационные характеристики при хранении в отапливаемых складских помещениях [не менее одного года] при температуре в диапазоне от 12°C до 35°C и относительной влажности воздуха [до 70 %] (за исключением стандартных изделий и расходных материалов, срок хранения которых определяется по их паспортным данным).

- при хранении прототип микротомографического сканера должен быть защищен от попадания пыли, влаги, ударов.

4.6. Требования по транспортированию

- транспортирование прототипа микротомографического сканера в таре должно допускаться всеми видами транспорта при температуре окружающего воздуха от минус 20°C до плюс 40°C , относительной влажности воздуха 98 % и атмосферном давлении от 75 до 115 кПа;

- прототип микротомографического сканера при транспортировании должен быть защищен от попадания пыли, влаги, ударов, опрокидывания;

- упаковка должна обеспечивать подъем и транспортирование вилочным погрузчиком и краном;

- для подъема краном прототип микротомографического сканера должен иметь предусмотренные резьбовые отверстия для рым болтов или грузовых винтов.

4.7. Требования безопасности

Конструкция прототипа микротомографического сканера должна обеспечивать безопасность обслуживающего персонала при эксплуатации, техническом обслуживании и ремонте в соответствии с требованиями соответствующих нормативных документов. Общие требования электробезопасности должны соответствовать ГОСТ Р 12.1.019-2017 (Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.)

5. Техничко-экономические требования

5.1. На первом этапе выполнения работ Исполнителем разрабатывается «Ведомость покупных изделий, комплектующих, материалов, спецоборудования для выполнения НИОКР», содержащая полную информацию о приобретаемых изделиях, комплектующих, материалах и спецоборудовании, включая их технические характеристики, обоснование стоимости и предполагаемых поставщиках.

Данная «Ведомость покупных изделий, комплектующих, материалов, спецоборудования для выполнения НИОКР» может корректироваться по согласованию Заказчика и Исполнителя.

6. Требования к видам обеспечения

6.1 Требования к нормативно-техническому обеспечению

- конструкторская и эксплуатационная документации должны разрабатываться в соответствии с ЕСКД (ГОСТ 2.001-2013. Единая система конструкторской документации.), ГОСТ 2.105-95 «Единая система конструкторской документации. Общие требования к текстовым документам».

6.2 Требования к метрологическому обеспечению

- требования к метрологическому обеспечению к прототипу микротомографического сканера не предъявляются.

6.3 Требования к диагностическому обеспечению

- требования к диагностическому обеспечению не предъявляются

7. Требования к материалам

7.1. Количество и ассортимент материалов, используемых для производства прототипа микротомографического сканера, определяется в ходе выполнения СЧ НИОКР.

8. Этапы выполнения СЧ НИОКР

№ п/п	Наименование этапа Содержание выполняемых работ	Результаты работ и отчетные документы	Сроки выполнения	
			Начало	Окончание
1	Разработка конструкторской документации прототипа микротомографического сканера.	Эскизная конструкторская документация, расчет, пояснительная записка. Промежуточный отчет.	с даты заключения контракта	15.01.2025
2	Изготовление прототипа микротомографического сканера. Проведение испытаний прототипа микротомографического сканера.	Конструкторская документация технического проекта прототипа микротомографического сканера. Паспорт прототипа микротомографического сканера. Руководство по эксплуатации прототипа микротомографического сканера. Акт изготовления прототипа микротомографического сканера. Программа и методика испытаний прототипа микротомографического сканера. Акт и протокол испытаний прототипа микротомографического сканера. Акт о приеме-передаче объектов нефинансовых активов (ОКУД 0510448). Итоговый отчет.	с даты заключения контракта	31.05.2026

9. Срок гарантии на выполненные работы

18 месяцев с даты подписания Заказчиком в единой информационной системе документа о приемке второго этапа выполненных работ.