

Л. Е. Сердаков^{1✉}, Н. А. Борщ², К. В. Паульзин²

Геодезическое сопровождение монтажа физического оборудования перепускного канала электронного пучка «СКИФ»

¹ Институт ядерной физики имени Г. И. Будкера
Сибирского отделения Российской академии наук

² Сибирский государственный университет геосистем и технологий,
г. Новосибирск, Российская Федерация
e-mail: LeoSerd@yandex.ru

Аннотация. В работе представлены результаты мониторинга деформационных изменений транспортного канала электронного пучка. Установлено, что секции канала, примыкающие к фундаментам зданий инжектора и накопителя, остаются стабильны. Центральная часть канала подвержена наибольшему вертикальным смещениям. Рассмотрен метод юстировки оборудования в проектное положение, основанный на последовательной коррекции центральной части канала после монтажа инжекционной и накопительной частей. В условиях активных деформационных процессов строительных конструкций и с высокоточными требованиями на установку в проектное положение физического оборудования, такой подход является оптимальным с точки зрения оперативности выполнения геодезических работ.

Ключевые слова: мониторинг деформаций, транспортный канал, юстировка, геодезические измерения

L. E. Serdakov^{1✉}, N. A. Borshch², K. V. Paulzin²

Geodetic Monitoring During Assembly of Physical Components in the «SKIF» Electron Beam Transfer Channel

¹ G.I.Budker Institute of Nuclear Physics of the Siberian Branch
of the Russian Academy of Sciences

² Siberian State University of Geosystems and Technologies,
Novosibirsk, Russian Federation
e-mail: LeoSerd@yandex.ru

Abstract. The paper presents the results of monitoring deformation changes in the transport channel. It has been established that the channel sections adjacent to the foundations of the injector and storage buildings remain stable. The central part of the channel is subject to the greatest vertical displacements. A method for adjusting the equipment to the design position based on sequential correction of the central part of the channel after installation of the injection and storage parts is considered. Under conditions of active deformation processes of building structures and with high-precision requirements for installation of physical equipment in the design position, such an approach is optimal from the point of view of the efficiency of geodetic work.

Keywords: deformation monitoring, beam transfer channel, alignment, geodetic surveying, reference points

Введение

Центр коллективного пользования «Сибирский кольцевой источник фотонов» Института катализа СО РАН - проект класса «мегасайнс» с источником синхротронного излучения поколения «4+».

ЦКП «СКИФ» представляет собой комплекс из 27 зданий, а также инженерного и технологического оборудования, обеспечивающий выполнение научных исследований на пучках синхротронного излучения, схема основных частей источника синхротронного излучения представлена на рисунке 1.

Уникальные характеристики нового синхротронного источника позволят проводить передовые исследования с яркими и интенсивными пучками рентгеновского излучения во множестве областей - химии, физике, материаловедении, биологии, геологии, гуманитарных науках, а также решить актуальные задачи инновационных и промышленных предприятий.



Рисунок 1 – основные составные части источника синхротронного излучения СКИФ, где 1 – инжектор и транспортный канал Бустер-Накопитель; 2 – здание Накопителя; 3 – зал пользовательских станций (станции №3-1...); 4,5 – станции, вынесенные отдельными зданиями.

Современные ускорители частиц, такие как «СКИФ» в Кольцово, требуют субмиллиметровой точности позиционирования оборудования. Перепускной канал является важной частью комплекса и предназначен для перепуска пучков электронов от инжектора в накопительное кольцо. Искажения расчетной орбиты, вызванные ошибками установки в проектное положение, могут привести

к энергетическим потерям и снижению эффективности параметров всего комплекса.

Методы и материалы

Необходимая точность выставки технического оборудования транспортного канала составляет $\leq 0,15$ мм в поперечных направлениях движения пучка [1]. Основным прибором, используемым для контроля монтажа физического оборудования ЦКП СКИФ являются лазерные трекары, в том числе и Leica AT403. Технические характеристики представлены в таблице 1.

Таблица 1

Технические характеристики Leica AT403

Трехкоординатная погрешность измерений (максимально допустимая ошибка, МРЕ)	
Статический режим	± 15 мкм + 6 мкм/м
Динамический режим	± 30 мкм + 12 мкм/м
Горизонтирование прибора	± 1 уг. Сек.
Диапазон измерений (по радиусу)	
На отражатель	160 м

Измерения производятся в «контактном» режиме, то есть пространственные координаты объекта получают через установку на него специального сферического отражателя. Учитывая оффсет отражателя, посредством программного обеспечения получают координаты поверхности объекта. Центровка призмы внутри тела отражателя составляет порядка 0,008 мм (отдельные отражатели имеют центровку точнее).

Структура транспортного канала СКИФ показана на рисунке 2.

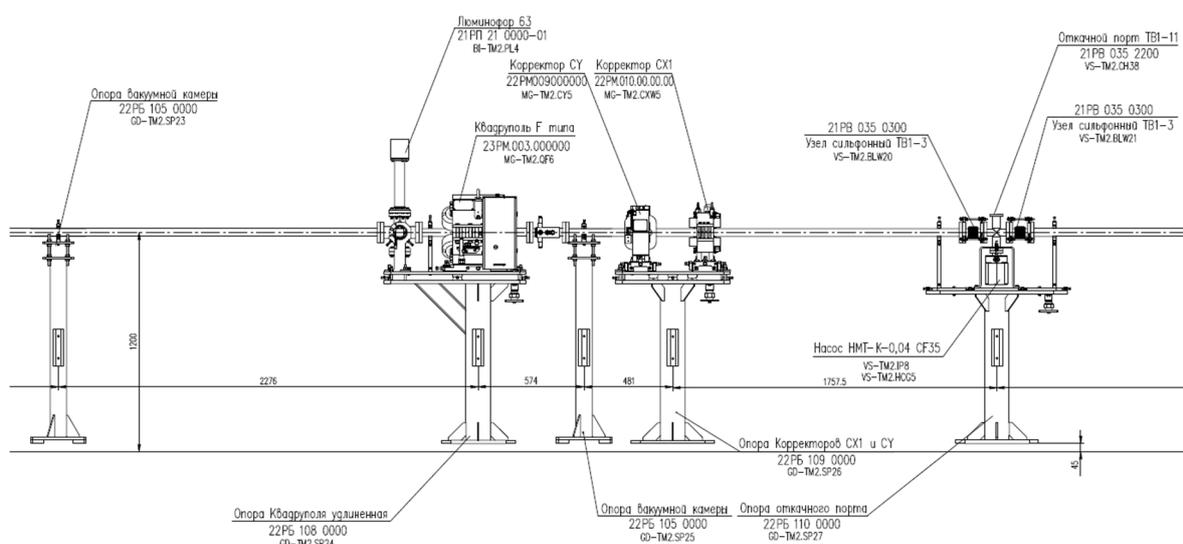


Рисунок 2 – Фрагмент чертежа регулярно повторяющихся элементов транспортного канала СКИФ

Для соблюдения проектных геометрических параметров ускорительно-накопительного комплекса во всех помещениях создается геодезическая опорная сеть, служащая основой непосредственно для высокоточного монтажа и юстировки физического оборудования. Измерения выполняются лазерными трекерами. Точность результатов измерений в одном цикле наблюдений должна быть не хуже $\pm 0,07$ мм [2]. Достаточная плотность сети составляет 0,5 – 0,7 знака на погонный метр тоннеля.

Длина канала (прямолинейного участка, задачей которого является перепуск электронного пучка из Бустера в Накопитель) составляет 182 м. Тоннель конструктивно состоит из 3 частей:

- часть, расположенная на фундаменте инжектора, порядка 25 метров.
- средняя часть, бетонный каркас, расположенный на уплотненном грунте, длиной 76 метров.
- часть тоннеля, примыкающая к фундаменту здания Накопителя, длина около 81 метра.

С целью контроля взаимного расположения частей канала, производится геодезический мониторинг. Первый цикл измерений был проведен в сентябре 2024 года, второй в феврале 2025.

По результатам анализа можно сделать следующие выводы:

1. Максимальная величина вертикальных смещений равна 14,9 мм.
2. Максимальные деформационные процессы наблюдаются в средней части канала.
3. Часть, прилегающая к плите Накопителя, имеет величины горизонтальных смещений существенно больше, чем высотных.

График вертикальных смещений для знаков сети представлен на рисунке 3.



Рисунок 3 – График вертикальных смещений геодезических знаков сети транспортного канала за период сентябрь 2024 – февраль 2025 (Ось абсцисс – номера наблюдаемых точек, Ось ординат – разница отметок)

На основании вышеописанных результатов анализа деформационного мониторинга за прошедший период определена стратегия приведения элементов транспортного канала в проектное положение в сложившихся условиях:

- часть оборудования, расположенная на участках фундамента инжектора и накопителя, юстируется от координат геодезической сети, полученной в февральском цикле наблюдений;

- при завершении первого этапа крайние элементы, опирающиеся на фундамент Инжектора и Накопителя, будут являться носителями координат в локальной системе лазерного трекера. Сам прибор будет установлен равноудаленно от обозначенных элементов в средней части тоннеля;

- после оценки планово-высотного положения крайних элементов и согласования их с проектными значениями, производится последующая установка элементов средней части канала.

На основании проведённого анализа данных мониторинга деформационных процессов в транспортном канале установлено, что пространственное положение элементов на плите бустера и инжектора остаётся стабильным в течение наблюдаемого периода. В связи с этим юстировка центральной части канала будет осуществляться по следующей методике: крайние элементы бустерной и инжекторной секций фиксируются в качестве опорных точек, что позволяет провести точное позиционирование измерительного оборудования и выполнить корректировку расположения элементов в центральной зоне.

Заключение

Предложен подход решения задачи приведения оборудования в проектное положение с требуемыми допусками в условиях активных деформационных процессов строительных конструкций и продолжения проведения строительства.

Применение данного подхода обеспечивает снижение временных затрат на повторные геодезические измерения в рамках цикла мониторинговых наблюдений. Рекомендуется регулярно проводить деформационный мониторинг внутри здания, для своевременного обнаружения этих самых деформаций. В ходе исследования было предложено решение установки в проектное положение оборудования транспортного канала с интенсивными деформационными процессами.

Благодарности

Выражаем благодарность ИЯФ СО РАН за предоставленное оборудование и предоставленную возможность провести данное исследование на базе сибирского кольцевого источника фотонов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Хаметов Т. И. Инженерно-геодезическое сопровождение строительства и эксплуатации зданий, сооружений: учебное пособие. - Москва; Вологда: Инфра-Инженерия, 2021. - 296 с. - ISBN 978-5-9729-0659-8.
2. Дегтярев Л. В. Геодезическое обеспечение строительства: учебное пособие. - Минск: БГТУ, 2005. - 243 с.

3. Мурзинцев П.П., Полянский А.В., Буренков Д.Б., Сердаков Л.Е. Геодезическое обеспечение проектирования, строительства, эксплуатации и мониторинга Ускорительно-накопительных комплексов - Монография. Новосибирск, 2021.
4. Марфенко С. В. Высокоточные геодезические работы при строительстве и эксплуатации прецизионных сооружений: учебное пособие. - М.: МИИГАиК, 2004. - 180 с.
5. Баран П. И. Геодезические работы при монтаже и эксплуатации оборудования. - М.: Недра, 1990. - 233 с.
6. Геодезия в строительстве: учебное пособие. - Челябинск: ЧГУ, 2021. - 120 с.
7. Масько А. В. Геодезическое сопровождение монтажа вентиляционного оборудования и трубопровода пожаротушения: дипломная работа. - Минск: БНТУ, 2020. - 66 с.
8. СП 126.13330.2017 Геодезические работы в строительстве. Актуализированная редакция СНиП 3.01.03-84. - М.: Минстрой России, 2017.
9. СП 70.13330.2012 Несущие и ограждающие конструкции. - М.: Минстрой России, 2012.

© Л. Е. Сердаков, Н. А. Борщ, К. В. Паульзин, 2025