

ГЕОМЕТРИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ПРОИЗВОДСТВА ДИПОЛЬНОГО МАГНИТА ЛАЗЕРНЫМ ТРЕКЕРОМ

Вячеслав Евгеньевич Тихонов

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, обучающийся, тел. (999)452-59-87, e-mail: vyachtikh@gmail.com

Глеб Сергеевич Захаров

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, обучающийся, тел. (915)625-06-96, e-mail: zloyboberrr@yandex.ru

Леонид Евгеньевич Сердаков

Институт ядерной физики имени Г. И. Будкера СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, проспект Академика Лаврентьева, 10, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, тел. (923) 230-07-44, e-mail: l.e.serdakov@inp.nsk.su

В работе рассмотрен процесс использования лазерного трекера API Radian при геометрическом контроле дипольного электромагнита. Изделие предназначено для международного ускорительного комплекса FAIR (г. Дармштадт, Германия). Сформулирована необходимость использования высокоточных средств измерений. Подробно описан алгоритм действий, позволяющий решить поставленную задачу. Сделан вывод о качестве измерений.

Ключевые слова: лазерный трекер, высокоточные измерения, дипольный магнит

GEOMETRIC CONTROL OF DIPOLE MAGNET PRODUCTION BY LASER TRACKER

Vyacheslav E. Tikhonov

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Student, phone: (999)452-59-87, e-mail: vyachtikh@gmail.com

Gleb S. Zakharov

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Student, phone: (915)625-06-96, e-mail: zloyboberrr@yandex.ru

Leonid E. Serdakov

Budker Institute of Nuclear Physics SB RAS, 11, Akademik Lavrentiev Prospect, Novosibirsk, 630090, Russia, Ph. D., Senior Researcher, phone: (923)230-07-44, e-mail: l.e.serdakov@inp.nsk.su

The paper discusses the process of using the Radian API laser tracker when geometrically controlling a dipole electromagnet. The product is intended for the international acceleration complex FAIR (Darmstadt, Germany). The need to use high-precision measuring instruments is formulated. The algorithm of actions allowing to solve the given problem is described in detail. The conclusion on the quality of measurements is made.

Keywords: laser tracker, high-precision measurements, dipole magnet

Введение

Геодезические измерения при сопровождении создаваемых ускорительно-накопительных комплексов являются актуальной научно-технической задачей ввиду постоянно растущих требований на установку в проектное положение отдельных элементов. Центр по исследованию ионов и антипротонов FAIR включает в себя целый каскад ускорителей частиц. Институт ядерной физики СО РАН, находящийся в г. Новосибирск, несколько лет занимается производством электромагнитных элементов для данного центра.

В данной работе рассмотрен процесс использования лазерного трекера API Radian при геометрическом контроле дипольного электромагнита. Для достижения необходимых точностей была разработана специальная методика, алгоритм действий которой описан в статье.

Методы и материалы

FAIR (Facility for Antiproton and Ion Research) – принятый к осуществлению международный проект в г. Дармштадт, Германия, включающий в себя целый каскад ускорителей частиц.

Комплекс ускорителей FAIR соединяют каналы транспортировки высокой энергии, включающие 356 электромагнитных элементов с вакуумными камерами (рис. 1). Часть этих электромагнитов и изготавливает Институт ядерной физики СО РАН г. Новосибирск.

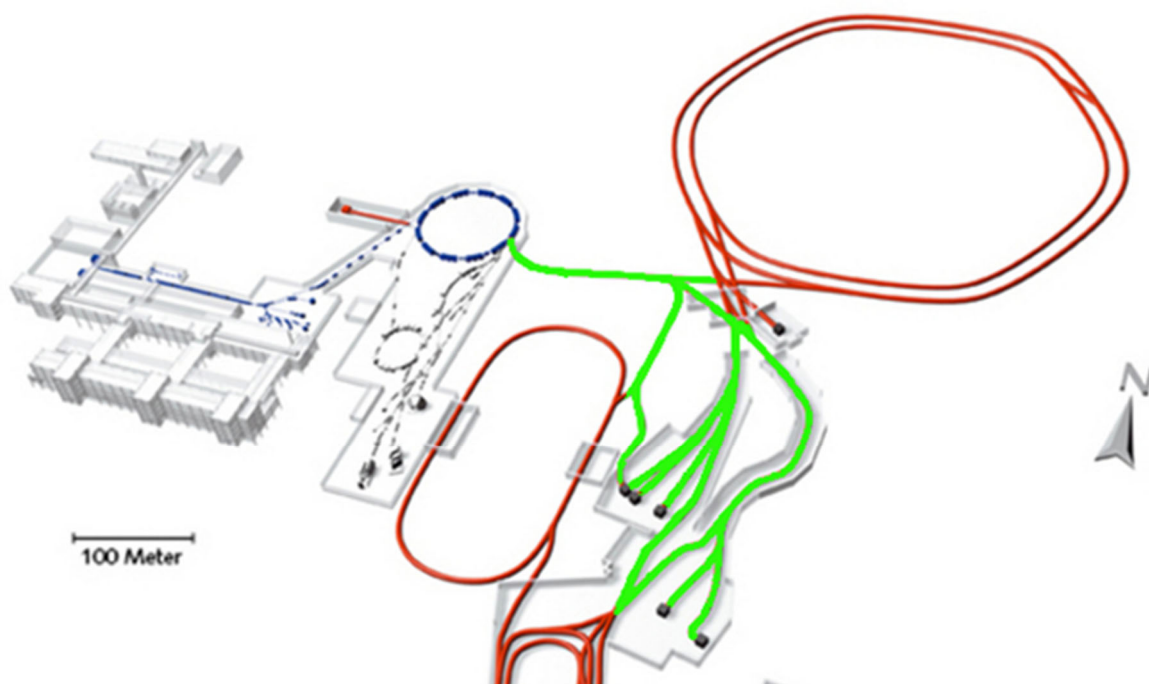


Рис. 1. Комплекс FAIR

Дипольный магнит – это магнитный элемент, создающий однородное магнитное поле. Он используется для создания ведущего плоского поля, задающего траекторию пучка заряженных частиц. Фотография магнита, установленного на расточном станке, представлена на рис. 2.

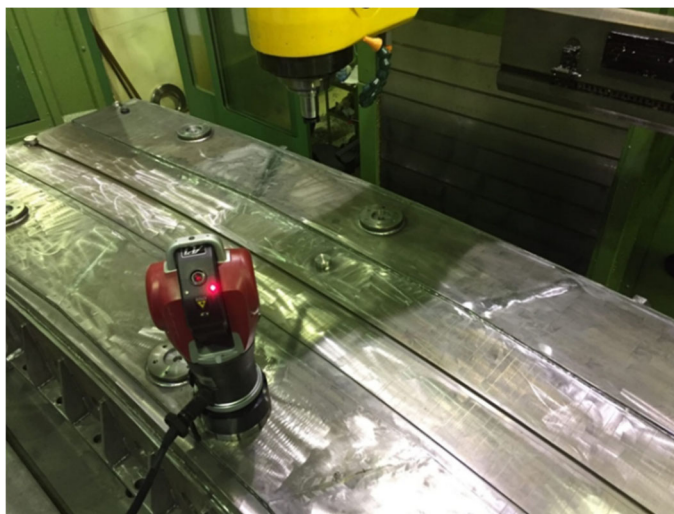


Рис. 2. Дипольный электромагнит

Величина силы, которая может быть приложена к заряженной частице электромагнитом, является одним из ограничивающих факторов для современных ускорителей. По мере того, как энергия ускоренных частиц увеличивается, магнитам требуется больше силы, чтобы изменить направление, и требуется управлять большими полями. Ограничения на величину поля, которое может быть создано современными дипольными электромагнитами, требуют увеличения размера ускорителей, что увеличивает количество используемых дипольных магнитов для компенсации увеличения скорости частиц.

Для точного расположения элемента в структуре ускорителя на каждой из половинок магнита необходимо закоординировать геодезические знаки относительно механической или магнитной оси. Геодезический знак дипольного электромагнита FAIR, изображенный на рис. 3, представляет собой металлическую болванку, жестко приваренную к верхней и нижней частям половинок. В сквозное отверстие диаметром 8 мм по центру устанавливается оснастка под сферический отражатель лазерного трекера. На каждой половинке устанавливается по три таких знака.

Отверстия просверливаются на высокоточном расточном станке. Станок имеет возможность работы в режиме координатно-измерительной машины: для этого вместо штатного оборудования для сверления устанавливается измерительный щуп.

На расчетных длинах оси отверстий геодезических знаков должны иметь взаимное расположение относительно торцов магнита, радиальной выборки и друг друга с допуском $\pm 0,05$ мм. Однако точность координатно-измерительной

системы станка оказалась недостаточной. В связи с этим, для контроля процесса изготовления необходимо использовать прибор, имеющий более высокий класс точности. В качестве такого прибора выступает лазерный трекер.

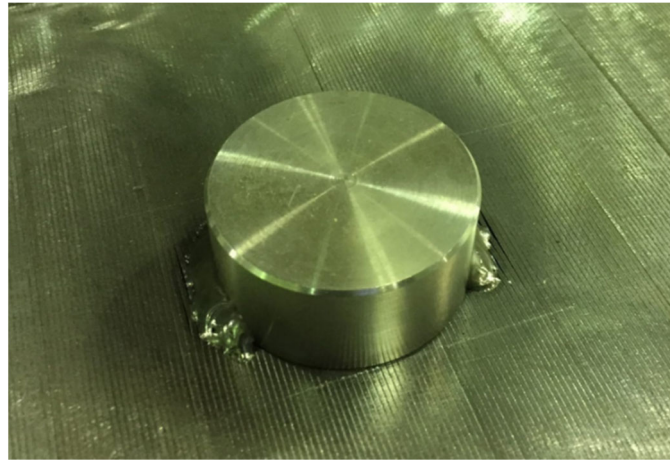


Рис. 3. Геодезический знак

Лазерный трекер – высокоточный измерительный прибор, базирующийся на принципе слежения за специальным уголковым отражателем с помощью луча лазера и сервоприводов.

Нами в процессе геометрического контроля использовался трекер API Radian R-80, представленный на рис. 4.



Рис. 4. Лазерный трекер API Radian R-80

- Основные характеристики прибора приведены ниже:
- пространственная погрешность: $\pm 10 \text{ мкм} + 5 \text{ мкм/м}$;
 - максимальный рабочий диапазон измерений: 80 м;
 - вес прибора: 9 кг;
 - вес контроллера: 3,2 кг;
 - рабочая температура от $-10 \text{ }^\circ\text{C}$ до $+45 \text{ }^\circ\text{C}$.

Алгоритм геометрического контроля положения геодезических знаков

На рис. 5 представлены основные контролируемые параметры.

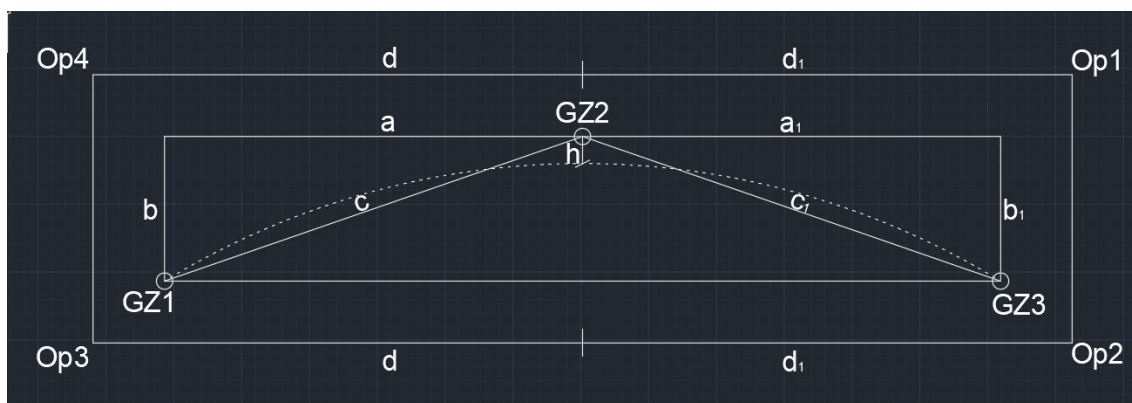


Рис. 5. Схема основных контролируемых параметров магнита

1. Процесс работы начинается с создания локальной системы координат.

1.1. Производится замер временных геодезических знаков на половине магнита (так называемая «опора»).

Опора – специальные геодезические знаки, необходимые для точного позиционирования лазерного трекера в процессе изготовления электромагнита. Используются 4 временных геодезических знака: Op1, Op2, Op3 и Op4 на схеме.

В дальнейшем после каждой сверловки геодезических опор определяется заново для привязки последующих измерений.

1.2. Строится система координат: ось Z направляется перпендикулярно плоскости временных геодезических знаков.

2. Производится измерение центрального геодезического знака: GZ2.

2.1. Отражатель закрепляется в цанге станка над знаком и определяется его положение.

2.2. Поверяются расстояния d , d_1 . Если значения разные, то вводятся поправки в программу станка для корректировки одного из расстояний.

2.3. Производится контроль h . Если расстояния отличаются, то вводятся поправки в программу станка.

2.4. Если параметры d , d_1 , h в допуске, производится сверловка отверстия под геодезический знак.

2.5. Измеряется положение просверленного отверстия.

3. Определяется положение отражателя, зафиксированного в цанге станка, для следующего геодезического знака: GZ1.

3.1. Производится контроль расстояний a, b, c . Если значения вне допуска, то вводятся поправки в программу станка.

3.2. Если параметры a, b, c в допуске, производится сверловка отверстия под геознак.

3.3. Измеряется положение просверленного отверстия.

4. Определяется положение отражателя, зафиксированного в цанге станка, для третьего геодезического знака: GZ3.

4.1. Производится контроль расстояний a_1, b_1, c_1 . Если значения вне допуска, то вводятся поправки в программу станка.

4.2. Если параметры a_1, b_1, c_1 в допуске, производится сверловка отверстия под геознак.

4.3. Измеряется положение просверленного отверстия.

5. Производится финальный контроль по просверленным отверстиям, чтобы удостовериться в соответствии допускам.

Результаты

Номинальные и получившиеся значения указаны в таблице.

Результаты измерений

Параметр	Номинальные значения, мм	Получившиеся значения, мм	Допуск, мм
a	1 540,000	1 540,041	±0,05
a_1	1 540,000	1 539,991	
b	44,805	44,798	
b_1	44,805	44,779	
c	1 540,650	1 540,693	
c_1	1 540,650	1 540,642	
d	1 604,710	1 604,724	
d_1	1 604,710	1 604,695	
h	23,508	23,531	

Вывод

Координатно-измерительная машина станка не позволяет достичь требований, установленных техническим заданием. Ввиду этого возникает необходимость контроля станка прибором более высокого класса точности.

Для нашей задачи таким прибором выступил лазерный трекер API Radian R-80. Его точность, при соблюдении вышеописанной методики, позволила достичь необходимых допусков, измерить и внести поправки в измерения координатно-измерительной машины станка.

Как следствие, можно подчеркнуть, что данная методика применима не только в экспериментальных научно-исследовательских работах, но и на производствах, нуждающихся в подобной точности и имеющих условия, необходимые для измерений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Буренков Д.Б. Разработка методики геодезического контроля изготовления и установки элементов ускорительно-накопительных комплексов с использованием API Laser Tracker 3: дис. канд. тех. наук – Новосибирск, СГУГиТ, 2016 – 24 с.
2. Дипольный магнит – Dipole magnet – other.wiki [Электронный ресурс]. URL: https://ru.other.wiki/wiki/Dipole_magnet (дата обращения: 13.05.2021).
3. Буренков Д.Б. [и др.]. Исследование точностных характеристик внутреннего электронного уровня API Laser Tracker 3 // Геодезия и картография. 2013. № 6. С. 13-16.
4. Буренков Д.Б. [и др.]. Исследование точностных характеристик дальномеров API LASER TRAKER 3 // ГЕО-Сибирь-2011: сб. материалов. – Новосибирск, СГГА, 2011. – С. 9-12.
5. Боков М.А. [и др.]. Исследования точности измерения превышений лазерным трекером API Tracker 3 в ИЯФ со РАН // Новосибирск, СГГА, 2010. – 6 с.
6. Левашов Ю.И. Критерии и технология прецизионной установки магнитов ВЭПП-4М методом сглаживания: дис. канд. тех. наук – Новосибирск, ИЯФ СО РАН, 1999. – 113 с.
7. Сердаков Л.Е. Разработка методики геодезического обеспечения для монтажа технологического оборудования источников синхротронного излучения: дис. канд. тех. наук – Новосибирск, СГУГиТ, 2020 – 24 с.
8. Сердаков, Л. Е., Д. Мартин, П. П. Мурзинцев. Геодезическое сопровождение на этапах сборки и эксплуатации модернизируемого источника синхротронного излучения ESRF // Геодезия и картография. 2018. № 11. С. 2-8.
9. Сердаков, Л. Е., Мурзинцев П. П., Полянский А. В. Об оптимизации опорных геодезических кольцевых сетей ускорителей при использовании лазерных трекеров // Геодезия и картография. 2017. № 5. С. 2-6.
10. Трекер Radian Pro [Электронный ресурс]. URL: <https://nevatec.ru/equipment/radian.html> (дата обращения: 13.05.2021).

© В. Е. Тихонов, Г. С. Захаров, Л. Е. Сердаков, 2021