

Черников В. И.

Б1-9-9643.

2763/76



+✓

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

С 345. 0
7-492

Б1-9-9643.

ДЕПОНИРОВАННАЯ ПУБЛИКАЦИЯ

Дубна 1976

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Лаборатория высоких энергий

В.И. Черников

С 345e
7-492

Б1-9-9643
инв 270

НЕСТАНДАРТНЫЕ ВЫСОКОТОЧНЫЕ ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ ДЛЯ
ИЗМЕРЕНИЯ ВЫСОТНОГО ПОЛОЖЕНИЯ МАГНИТА СИНХРОФАЗОТРОНА
ОИЯИ

ВУЗОВСКИЙ РЕЦЕПТ
24 марта 76
22 авг. 76.

Объединенный институт
ядерных исследований
ИЯИ

Дубна, 1975 год

I. ВВЕДЕНИЕ

Известно, что успешная работа ускорителя определяется током инжекции и характеристиками магнитного поля, зависящими от точности установки электромагнита (ЭМ) ускорителя. Дубненский синхрофазотрон (СФТ) на энергию 10 Гэв работает с 1957 года, но характеристики ЭМ синхрофазотрона, в частности его деформации значительно отличаются как от проектных^{/1,2,3/}, так и от тех, которые считаются допустимыми на других ускорителях класса синхрофазотрона^{/4,5/}.

В связи с реализацией программы повышения интенсивности ускоряемого пучка и с введением нового инжектора ЛУ-20 в работу, возникла необходимость в проведении подробной съемки действительного положения центра зазора магнита ускорителя. Эти измерения являются необходимой стадией для разработки мероприятий, направленных на улучшение характеристик ускорителя, в частности, предполагаемой юстировки кольцевого магнита синхрофазотрона с помощью постоянных юстировочных устройств, которые не были предусмотрены при проектировании Дубненского ускорителя, как например, это было сделано на Бэватроне^{/6/}. Этот ускоритель имеет стационарную систему регулировки высотного положения магнита, что дает возможность производить его юстировку во время ревизий.

Для контроля высотного положения медианной поверхности ускорителя, необходимо определить отметки характерных точек нижних полюсов магнита СФТ и измерить с большой точностью (до сотых долей мм) соответствующий им зазор между кромками полюсов, образованный не плоско-параллельными поверхностями, которые имеют между собой расходящийся от цен-

тра ускорителя, угол величиной $9,3 \cdot 10^{-3}$ рад. Измерить зазор с такой точностью известными методами и существующими приборами, применяемыми в геодезии и машиностроении оказалось невозможным, так как при конструировании вакуумной камеры СФТ не была предусмотрена возможность таких высокоточных измерений.

В 1973 году была предложена методика высокоточных геодезических измерений, которая предусматривала перенесение части этих измерений внутрь вакуумной камеры ускорителя. Выполнение работ по предложенной методике потребовало создания ряда нестандартных геодезических приборов: рейки нивелирной, микронивелира с переменной базой и нутромера нониусного. Эти приборы, представленные на Рис. 1, 2, 3 соответственно, необходимы для осуществления определения отметок характерных точек нижних полюсов СФТ и измерений соответствующих им зазоров, были разработаны и изготовлены в ЛВЭ ОИЯИ

Конструкции нестандартных высокоточных геодезических приборов: рейки нивелирной, микронивелира с переменной базой и нониусного нутромера учитывают специфику работы в условиях вакуумной камеры СФТ (сечение 2000 x 400 мм) и кратковременность циклов измерений во времени (время ревизии оборудования ускорителя во время остановок).

Измерения по предложенной методике осуществляются сочетанием трех методов: метода геометрического нивелирования, микронивелирования и измерения зазоров ЭМ с использованием нониусного нутромера.

2. РЕЙКА НИВЕЛИРНАЯ

Рейка нивелирная служит для определения отметок характерных точек нижних полюсов ЭМ синхрофазотрона и измерения зазоров между нижними и верхними полюсными наконечниками магнита в зоне опти-

ческой видимости снаружи ЭМ СФТ.. Эти измерения необходимы для определения действительного положения медианной поверхности ускорителя. Характерной особенностью нивелирной рейки (рис. I) является ножевидная пятка, имеющая толщину лезвия 0,5 мм, что позволяет устанавливать ее непосредственно на кромку полюсного наконечника ЭМ. Установка производится в месте стыковки двух соседних полюсов магнита через узкую щель между рейками крепления тонких стенок вакуумной камеры ускорителя, образующих его форвакуумный объем. Ширина щели между рейками колеблется от 2,5 мм до 3,5 мм. Корпус рейки изготовлен из дюралевой трубки, имеющей наружный диаметр 30 мм с толщиной стенки 5 мм. На полированной наружной поверхности рейки нанесена измерительная шкала с шагом 5-0,01 мм. Для точной установки рейки в вертикальное положение при измерениях, на корпусе на противоположных сторонах его закреплены два круглых уровня с пределами измерения от 0 до 10', имеющих погрешность измерения $\Delta \tau = 0,1'$. Для закрепления внутри вакуумной камеры СФТ в нужном положении при определении отметок характерных точек и измерения зазоров рейка снабжена разжимной винтовой рукояткой, на торце которой имеется круглая вращающаяся пятка толщиной 1 мм.

2.1. Работа с нивелирной рейкой при измерениях

При определении отметок характерных точек ножевидная пятка нивелирной рейки устанавливается на кромку полюсного наконечника одного из полюсов магнита СФТ в зоне оптической видимости, т.е. напротив открытых окон вакуумной камеры ускорителя.

По круглому уровню при установке рейки контролируется ее вертикальное положение и при совпадении пузырька уровня с нуль-пунктом (т.е. с центром наименьшей из его окружностей), рейка фиксируется разжимной винтовой рукояткой. Измерения выполняются с помощью

нивелира *Ni* -007, установленного за пределами магнита СФТ. После снятия отсчета рейка расфиксируется и переставляется на новую точку. При измерении зазоров между полюсными наконечниками ЭМ, нивелирная рейка своей ножевидной пяткой сначала устанавливается на кромку нижнего полюсного наконечника, а после снятия отсчета по ней на противоположную характерную точку верхнего полюса ЭМ СФТ.

3. МИКРОНИВЕЛИР С ПЕРЕМЕННОЙ БАЗОЙ

Микронивелир с переменной базой предназначен для определения превышений между характерными точками нижних полюсных наконечников магнита СФТ вне зоны видимости снаружи ЭМ/7/.

Конструкция микронивелира с переменной базой включает в себя: штангу, изготовленную из стальной трубки, имеющей наружный диаметр 25 мм и толщину стенки 3 мм, узел установки микронивелира и узел подвижной точечной опоры.

В узел установки входят: сухарь приваренный к одному торцу штанги, имеющий два сквозных резьбовых отверстия М8х1,5 мм под подъемные винты с сферическими концами, изготовленные из латуни, уровень круглый с пределами измерения от 0 до 10', с погрешностью измерения $\Delta\gamma = 0,1'$, при помощи которого штанга однозначно устанавливается по углу поворота вокруг ее продольной оси и уровня цилиндрического УНТ-20 с пределами измерения от 0 до 1', с погрешностью измерения 3,2", при помощи которого штанга однозначно устанавливается относительно горизонтальной плоскости. Уровни круглый и цилиндрический жестко скреплены с штангой посредством шайб, приваренных к ней.

В подвижный узел точечной опоры микронивелира входят: игла, которая эксцентрично закреплена на фланце, имеющем ось вращения проходящую через направляющую втулку, приваренную на противополож-

ном торце штанги относительно узла установки микроинверлира и Г-образный кронштейн жестко скрепленный с штангой, который своей плоско-параллельной пластинкой опирается на шарик, представляющий собой точечную опору, закрепленный на конце оси фланца. Ось фланца имеет свободу вращения в направляющей втулке, во избежание проворота ее при измерениях превышений характерных точек, она фиксируется винтом. На оси фланца закреплен дюралевый нониусный лимб, который служит для установки иглы в нужное положение при измерениях и для снятия отсчета угла поворота ее оси относительно риски, нанесенной на втулке при юстировке микроинверлира. Кроме направляющей втулки и сухаря на штанге закреплены три посадочных гнезда, которые предназначены для закрепления в них индикатора часового типа ИЧ-10, имеющего пределы измерения от 0 до 10 мм с ценой деления 0,01 мм и допустимой погрешностью измерения $\Delta e = 0,032$ мм, позволяющие дискретно измерять мерную базу прибора при измерениях. Измерительный стержень индикатора снабжен пластинчатым щупом толщиной 0,5 мм.

3.1. Работа с микроинверлиром при измерениях

При измерениях для определения превышения между характерными точками полюсного наконечника ЭМ необходимо подъемными винтами штангу установить таким образом, чтобы пузырьки круглого и цилиндрического уровней находились в нуль-пункте. При этом положении штанги микроинверлира берется отсчет "а" по индикатору ИЧ-10. Искомое превышение определяется по формуле:

$$H = \pm a \pm MO \quad (I)$$

где а - отсчет по индикатору; MO - место нуля прибора (т.е. отсчет по индикатору при нулевом превышении).

Знаки перед величиной "а" и "MO" зависят от направления хода измерения. В случае необходимости измерения базы микроинверлира, игла

расфиксируется и поворачивается вокруг оси фланца на необходимый угол. Неизменность места нуля при таком повороте обеспечивает точечная опора оси вращения фланца и соответствующая юстировка уровней.

Уровни юстируются таким образом, чтобы при установке их пузырьков в нуль-пункте ^сэксцентричная игла описывала при вращении окружность, лежащую в горизонтальной плоскости. Такая поверка прибора осуществляется на поверочной плите, установленной горизонтально.

4. НУТРОМЕР НОНИУСНЫЙ

Нутромер нониусный предназначен для измерения вертикальных зазоров между кромками полюсов магнита синхрофазотрона, как в зоне оптической видимости (т.е. в районе окон вакуумной камеры ускорителя), так и вне этой зоны по всему кольцу СФТ.

Нутромер позволяет измерять зазоры между кромками полюсов магнита с точностью $\pm 0,01$ мм в пределах:

- а) вдоль продольной оси нутромера $e = 395 + 25$ мм;
- б) при смещениях зазоров полюсов ЭМ относительно вертикальной плоскости в которой при измерениях лежит ось нутромера, от $X=0$ до $X = \pm 12$ мм.

Конструкция нониусного нутромера разработана с учетом конструктивных особенностей нивелирной рейки и микронивелира с переменной базой (рис. 1 и 2). Также как и нивелирная рейка он снабжен: ножевидной пяткой, зажимным винтовым устройством и круглым уровнем, позволяющим установить нутромер вертикально.

Аналогично нивелиру нутромер имеет измерительную иглу, закрепленную эксцентрично на нониусном барабане. Эксцентриситет иглы 12 мм. На наружной поверхности барабана нанесена нониусная шкала, служащая для отсчета угла поворота иглы при измерениях зазора. В

винтовой рукоятке имеется прорезь с рисками для считывания угла.

Индикатор ИЧ-25 вставлен и закреплен винтом в держателе, который запресован в кронштейне, на котором прикреплен отъюстированный круглый уровень. Кронштейн закреплен на корпусе рейки. Ось нониусного барабана и измерительный стержень прибора ИЧ-25 соединены жестко между собой посредством соединительного стержня. Нониусный барабан имеет свободу перемещения внутри винтовой рукоятки. Передвижение его осуществляется пружиной, надетой на ось барабана. Игла имеет свободу перемещения вокруг продольной оси нутромера в пределах угла в 270° . Перемещение ее осуществляется с помощью установочного лимба, который закреплен на торце винтовой рукоятки. В нерабочем положении игла находится внутри рукоятки, при сжатой пружине и фиксируется там специальным винтом держателя индикатора. Нониусный нутромер также, как и нивелирная рейка снабжен круглой пяткой, имеющей свободу вращения в специальной втулке, закрепленной на внутренней стенке винтовой рукоятки.

4.1. Работа с нониусным нутромером

Установка нониусного нутромера в положение измерения производится аналогично установке нивелирной рейки. Специфика же работы с нутромером, заключается в следующем.

После закрепления нутромера в вертикальном положении измерительную иглу поворачивают вокруг продольной оси нутромера так, чтобы она могла попасть в щель между рейками крепления форвакуумного объема камеры и коснуться кромки верхнего полюсного наконечника ЭМ, расположенного симметрично нижнему полюсу, на кромку которого опирается ножевидная пятка. Затем отпускается винт фиксации измерительного стержня индикатора ИЧ-25 и нониусный барабан под действием сжатой пружины перемещается и поджимает измерительную иглу к верх-

нему полюсному наконечнику ЭМ, которая остается поджатой к кромке на время измерения. По индикатору ИЧ-25 берется отсчет в данном месте измерения на магните СФТ. Отсчет угла поворота иглы берется по шкале нониусного барабана.

Зазор между полюсными наконечниками может быть определен по следующей формуле:

$$L = a + b \pm \Delta e, (2)$$

где a - отсчет по индикатору;

b - базовая длина нониусного нутромера от конца ножевидной пятки до конца иглы при индикаторе, установленном на нуль;

Δe - поправка, вводимая из-за угла раствора полюсов, которая может быть определена по формуле:

$$\Delta e = \varepsilon \cdot \frac{\alpha}{2} \cdot \sin \gamma, (3)$$

где ε - эксцентриситет иглы;

α - угол между верхним и нижним полюсными наконечниками ЭМ;

γ - угол поворота иглы относительно направления орбиты.

Медианная поверхность ускорителя может быть определена в первом приближении как ломаная плоскость симметрии верхних и нижних полюсов. Отметки $H_{МП}$ точек, принадлежащих этой плоскости, можно вычислить по формуле:

$$H_{МП} = H_{НП} + \frac{L}{2}, (4)$$

где $H_{МП}$ - отметка характерной точки нижнего полюсного наконечника;

L - зазор между кромками полюсов определенный по формуле (2).

В заключение автор выражает благодарность Ю.Е.Федосееву, принимавшему участие в создании приборов и их испытании на ускорителе.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. В.И.Векслер, А.А.Коломенский, В.А.Петухов, М.С.Рабинович.
Ускорители элементарных частиц. Москва, 1957.
2. E.G.Komar et al. CERN Symposium I (1956), 382-384.
3. А.Н.Комаровский. Строительные конструкции ускорителей. Москва, 1961 г.
4. Ю.Д.Безногих и др. Некоторые характеристики синхрофазотрона ОИЯИ (I и II кварталы 1972 г.) Депонированное сообщение ОИЯИ, Б2-9-7208, Дубна, 1972 г.
5. Б.В.Василишин и др. Влияние деформаций магнита на бетатронные колебания в синхрофазотроне. Депонированное сообщение ОИЯИ, Б1-9-8031, Дубна, 1974 г.
6. E.Corkand, E.J.Lofgren, Bevatron Operation and development. II UCRL-2692, September 13, 1954.
7. В.И.Черников, Ю.Е.Федосеев. Микронивелир с переменной базой. Заявка на изобретение № 2070138/18-10, 1974 г.

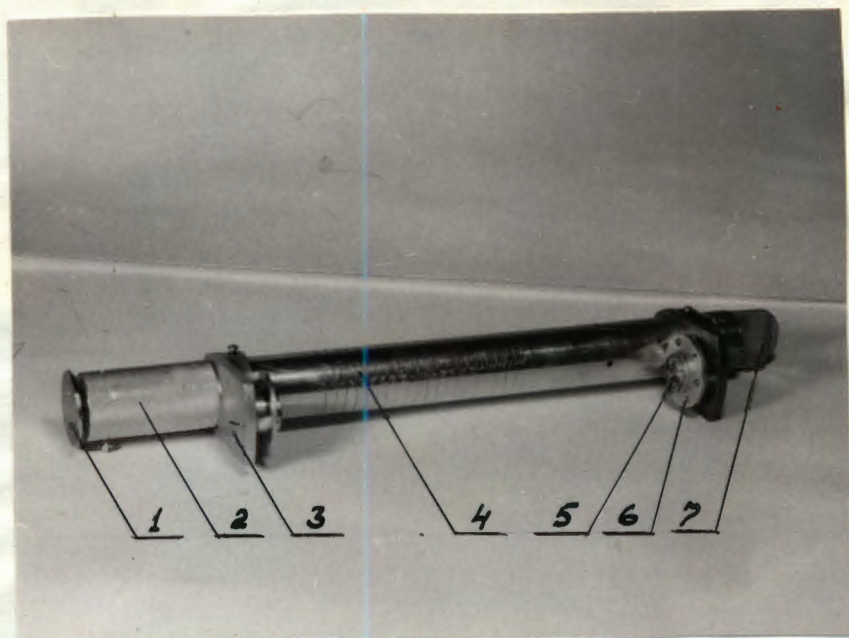


Рис. I. Рейка нивелирная: 1-пятка круглая, 2-рукоятка винтовая; 3-кронштейн, 4-рейка, 5-уровень круглый, 6-держатель круглого уровня, 7-опора ножевидная.

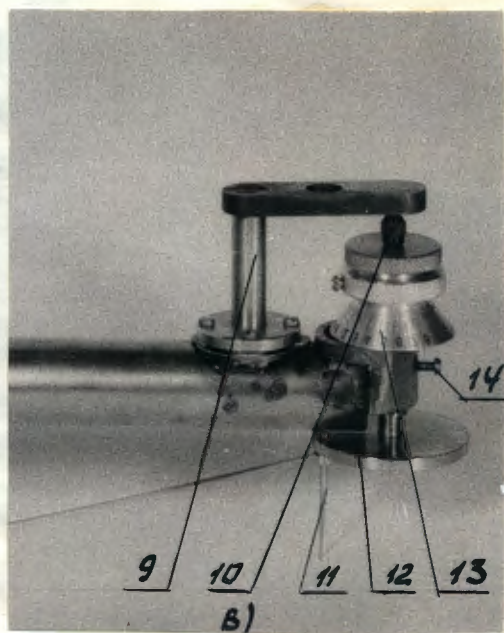
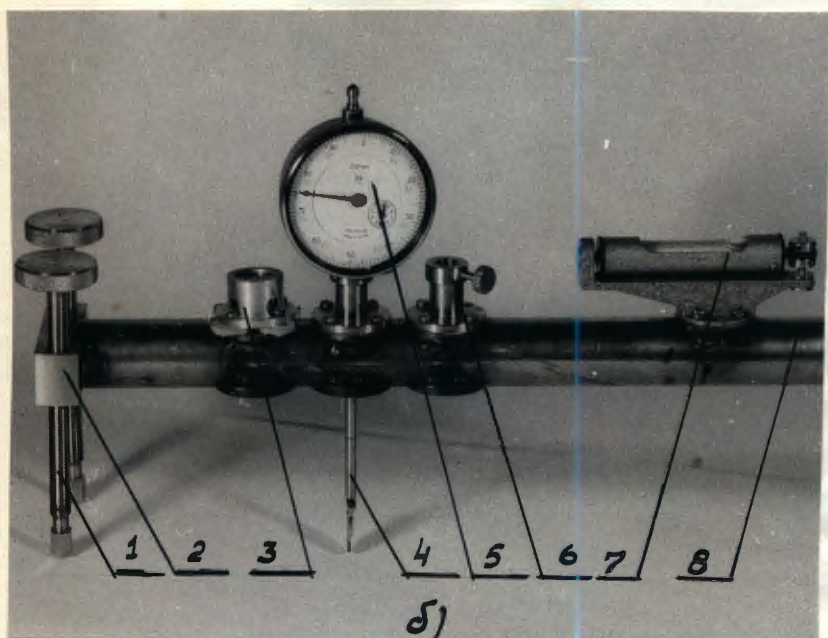
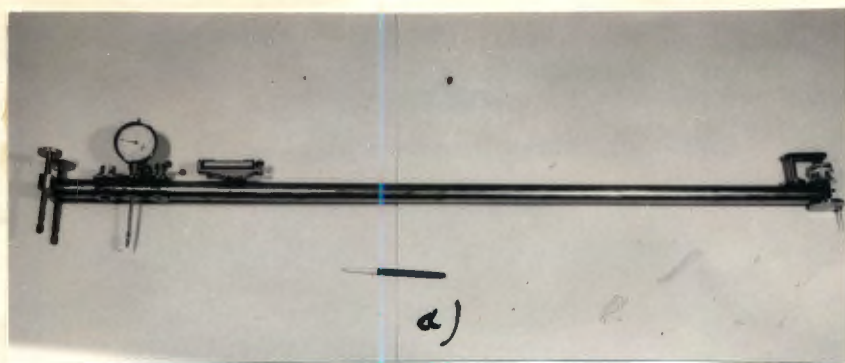


Рис.2. Микронивелир с переменной базой: а) общий вид нивелира; б) узел юстировки; в) узел точечной опоры; 1-подъемные винты, 2-сухарь, 3-держатель круглого уровня, 4-щуп измерительный, 5-индикатор ИЧ-10, 6-держатель индикатора, 7-уровень УНТ-20, 8-штанга, 9-кронштейн, 10-точечная опора, 11-игла, 12-фланец-держатель иглы и точечной опоры, 13-лимб установки иглы, 14-винт фиксирующий.

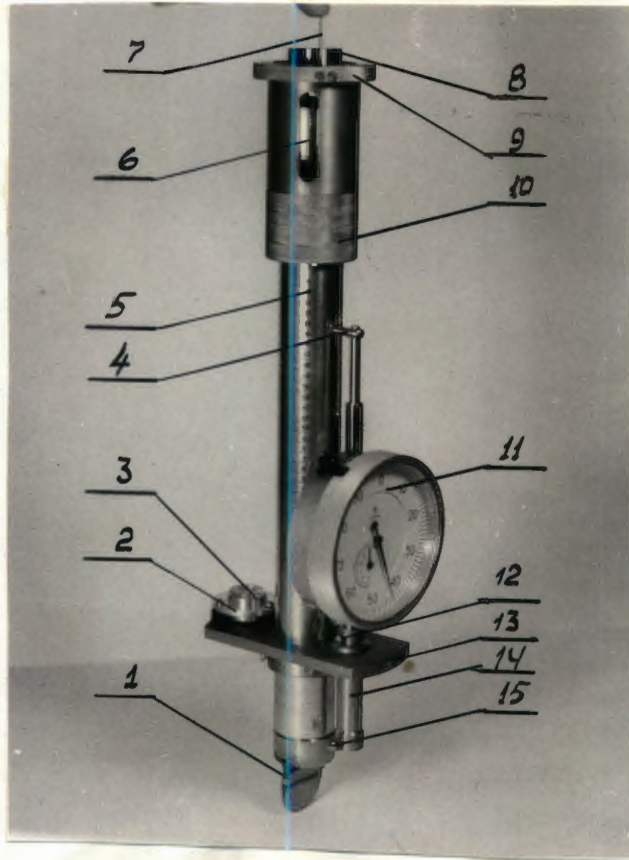


Рис.3. Нутромер нониусный: 1—опора ножевидная, 2—держатель круглого уровня, 3—уровень круглый, 4—стержень соединительный, 5—рейка нивелирная, 6—барaban нониусный, 7—опора игольчатая, 8—пятка круглая, 9—лимб установочный, 10—рукоятка винтовая, 11—индикатор ИЧ-25, 12—винт зажимной, 13—кронштейн, 14—направляющая измерительного стержня ИЧ-25, 15—винт фиксации измерительного стержня индикатора ИЧ-25, в нерабочем положении.