

ГЕОДЕЗИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ СТРУКТУРНЫХ МАГНИТОВ УСКОРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ЛФВЭ ОИЯИ

*А. В. Алфеев, И. Л. Гурылева, В. Н. Емельяненко,
В. А. Михайлов, Ю. А. Цветкова*

Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

Описаны этапы геодезических работ, проведенных при строительстве и эксплуатации синхрофазотрона и нуклотрона. Основное внимание уделено анализу имеющихся данных об изменении высотного положения элементов нуклотрона и описанию технических требований на геодезическое обеспечение ускорительного комплекса, что необходимо для повышения эффективности работы нуклотрона и дальнейшей успешной работы НИСА.

The stages of geodetic works carried out during the Synchrophasotron and the Nuclotron construction and operation are described. The primary focus is on the analysis of available data on the Nuclotron elements vertical alignment changing and the description of technical requirements for geodetic control ensuring of the accelerator facility, necessary to increase the accelerating efficiency in the Nuclotron and provide further successful operation of the NICA complex.

PACS: 29.20.—с

1. ИЗМЕРЕНИЯ НА СИНХРОФАЗОТРОНЕ В 1956–1990 ГГ.

В процессе строительства и в первые годы эксплуатации синхрофазотрона был выполнен большой объем геодезических работ для определения надежности основания ускорителя. Контроль осадок электромагнита в 1955 г. показал максимальную величину прогиба фундамента порядка 23 мм. В 1956 г. эта величина уменьшилась до 18 мм, и был сделан вывод, что по окончании перераспределения и выравнивания нагрузок деформации фундамента прекратились и установилось равновесие (рис. 1).

В дальнейшем контроль осадок электромагнита проводился не систематически, в основном по причине отсутствия постоянной геодезической службы. Статистика этих измерений показала, что процесс не только не прекратился, но продолжает прогрессировать [1].

Поэтому в 1972–1974 гг. среди других мероприятий по повышению интенсивности ускорителя был выполнен большой объем работ по более точным наблюдениям за стабильностью положения электромагнита.

Анализ данных показал, что основание электромагнита периодически деформируется в зависимости от времени года. Во время подъема грунтовых вод (апрель)

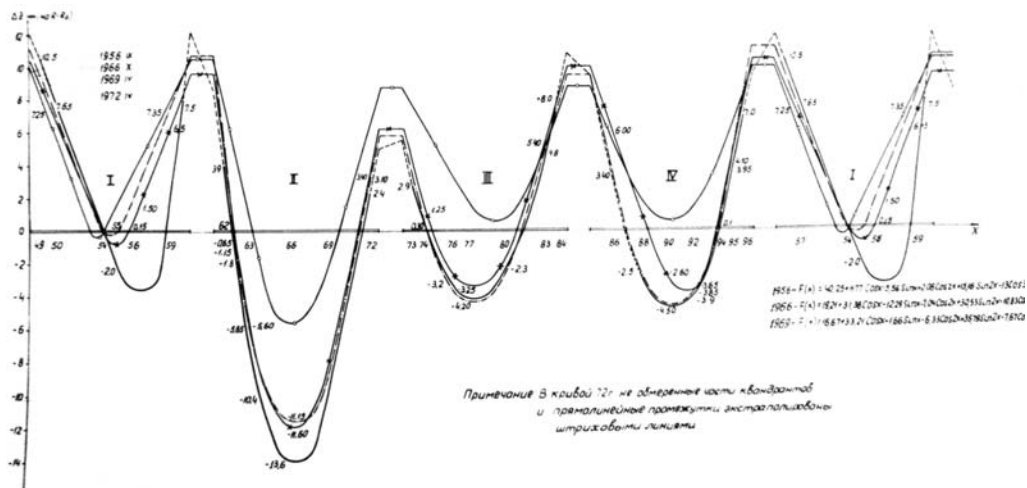


Рис. 1. Изменение формы геометрической поверхности электромагнита синхрофазотрона по данным нивелирования, начиная с 1956 г.

наружные радиусы всех квадрантов магнита поднимаются относительно низкого уровня воды (февраль), а внутренние опускаются. Наибольший подъем наружных стоек электромагнита составил 1,2 мм, а наибольшее опускание внутренних — 0,3 мм. К летнему периоду (июнь) деформации возвращались на уровень февраля.

При появлении дополнительных нагрузок происходили и аперiodические осадки. Например, строительство здания экспериментального зала (205-й корпус) привело к дополнительной осадке третьего квадранта на величину 1–1,2 мм.

В результате измерений на синхрофазотроне в 1973–1985 гг. установлено, что за этот период плоскость ускорителя опустилась на 2,16 мм относительно окружающей местности [2].

В 1986–1990 гг. установлено, что в этот период продолжалось равномерное оседание плоскостей квадрантов 1, 3 и 4. В то же время положения пунктов на квадранте 2 изменились на величину до 1,2 мм, что объяснялось строительством здания компрессорной станции. Наблюдения в этот период выполнялись только в весенне-летний период, что не позволило выявить зависимость от изменения уровня грунтовых вод и температуры. Был сделан вывод, что положение магнита синхрофазотрона не стабилизировалось [3].

2. ИЗМЕРЕНИЯ НА НУКЛОТРОНЕ В 1990–1991 ГГ.

При строительстве нуклотрона магнитные элементы ускорителя были установлены и выровнены по высоте с точностью до 0,2 мм. В 1990–1991 гг. были выполнены работы по наблюдению за стабильностью высотного положения основания нуклотрона, поскольку постоянный доступ к самим магнитным элементам конструктивно отсутствует. В результате была установлена величина сезонных колебаний до 0,5 мм и подтверждено отсутствие стабильности помимо периодических изменений (рис. 2).

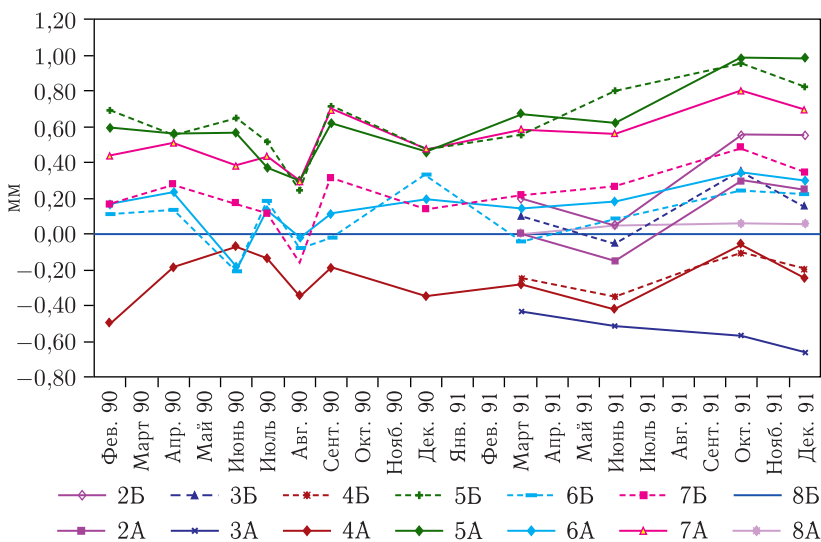


Рис. 2. Относительное изменение положения точек основания нуклотрона по высоте в 1990–1991 гг.

3. ИЗМЕРЕНИЯ НА НУКЛОТРОНЕ В 2008 Г.

Весной 2008 г. была начата новая серия наблюдений за стабильностью высотного положения оснований магнитных элементов нуклотрона. Измерялось взаимное положение 12 равномерно расположенных по кольцу точек. Абсолютные изменения

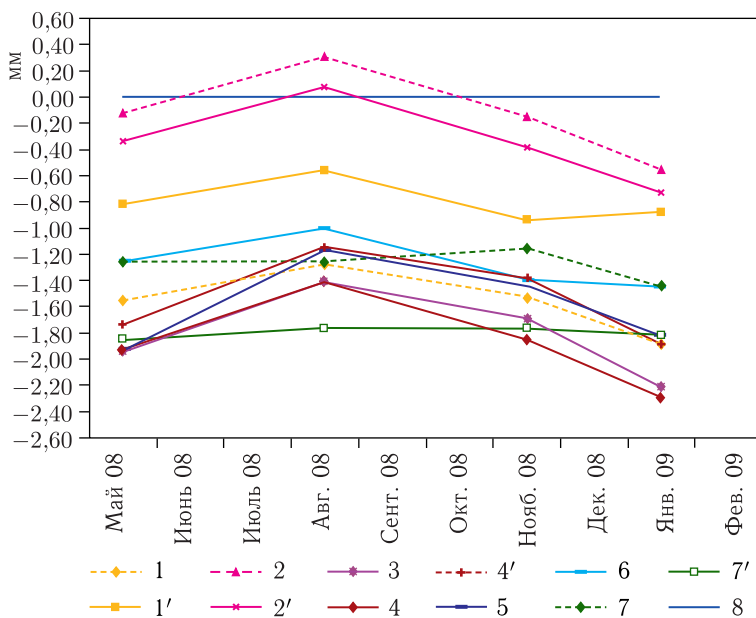


Рис. 3. Относительное изменение положения точек основания нуклотрона (8 октантов) по высоте в 2008–2009 гг. $f(t)$

положения точек кольца относительно внешних реперов, которые не влияют на эффективность ускорения, не измерялись (рис. 3).

К настоящему времени выполнено 4 серии таких наблюдений (не считая трех предварительных по другим точкам). По предварительным результатам в настоящее время видно, что величина периодических колебаний достигает 0,8 мм. Для определения характера непериодических (постоянных) изменений имеющихся на сегодня данных недостаточно. Для их получения следует продолжить эту серию измерений.

4. АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ

- В связи с изменением уровня грунтовых вод и температурного режима в течение года происходит изменение положения точек основания нуклотрона (соответственно и магнитных элементов на нем) на величину до 0,6–0,8 мм друг относительно друга. Предположительно, эти изменения носят *периодический* характер.

- Со времени строительства синхрофазотрона и до 1990 г. происходило *постоянное проседание* его здания и связанных с ним установок. Нет никаких оснований считать, что этот процесс завершился в 1990 г. В силу различных причин это проседание может быть как относительно равномерным по окружности ускорителя, так и нет.

- В связи с этим проседанием, другими причинами и отсутствием систематических наблюдений за высотным положением мы *не имеем данных о взаимном высотном расположении магнитных элементов нуклотрона*.

- На основании косвенных данных можно сделать предположение о вероятном уходе вертикального положения магнитных элементов нуклотрона от проектных значений на величину до 2–3 мм.

Имеющиеся данные об изменении положений точек основания нуклотрона по высоте относительно точки основания дипольного магнита 8M4A1 (рис. 4) позволили оценить среднеквадратичное отклонение замкнутой орбиты. Для среднеквадратичного значения ошибок расстановки квадрупольных линз σ_a среднеквадратичное откло-

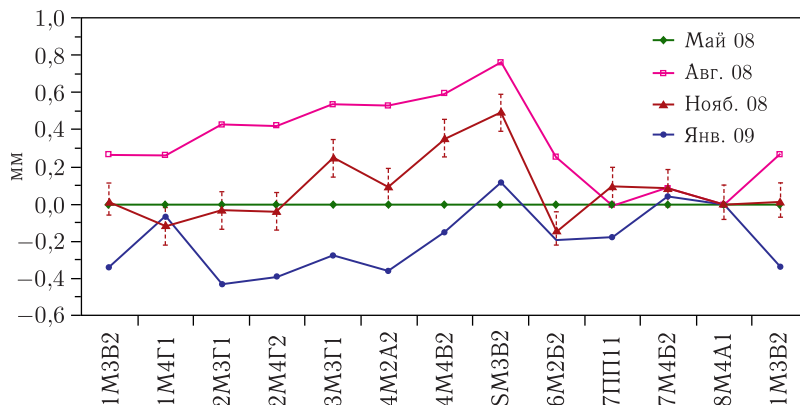


Рис. 4. Изменения положений точек основания нуклотрона по высоте в 2008–2009 гг. относительно точки основания 8M4A1 с мая по январь

нение замкнутой орбиты σ_{orb} для ускорителя с периодической структурой, состоящей из N_C FODO-ячеек, можно рассчитать по формуле

$$\sigma_{\text{orb}} \approx \frac{|k|l_Q\beta_{\text{eff}}}{4\sin(\pi Q)}\sqrt{N_C}\sigma_a,$$

где k — градиент в квадрупольных линзах; l_Q — длина квадрупольной линзы; Q — частота бетатронных колебаний; β_{eff} — эффективное значение бета-функции на периоде [4]. Для нуклотрона при рабочей частоте $Q = 7,4$ ожидаемое среднее квадратичное отклонение орбиты составляет 12 мм.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изменение взаимного высотного положения магнитных элементов нуклотрона относительно проектных на величины до 0,8 мм в течение года и до 2–3 мм постоянно требует их точного определения и выполнения геодезических наблюдений за текущим состоянием ускорителя, так как они влияют на эффективность ускорения. Это даст возможность провести мероприятия либо по устранению этих изменений, либо по компенсации их другими средствами.

Измерение взаимного высотного положения магнитных элементов возможно только при открытом к ним доступе. Способ дальнейшего контроля высотного положения нуклотрона можно установить после определения всех причин, влияющих на него.

Конструкции новых магнитов должны предусматривать возможность свободного измерения положения магнитных элементов.

Направление дальнейших геодезических измерений на ускорителе определяется программой развития комплекса.

Для повышения эффективности ускорения нуклотрона следует:

- продолжить серию наблюдений за стабильностью высотного положения оснований магнитных элементов с целью определения величины сезонных колебаний и непериодической составляющей;
- определить реальное высотное положение магнитных элементов.

Для целей проектирования новых установок на ускорительном комплексе необходимо знать и следует определить:

- величины сезонных колебаний высот всех крупных элементов, которые будут служить основанием под будущие установки, — синхрофазотрона и площадок под ускорители;
- тенденции и порядок величин возможных несезонных изменений высот.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Некоторые характеристики синхрофазотрона ОИЯИ (IV квартал 1974 г.). Б2-9-8775. Дубна, 1975.
2. Высокоточные геодезические измерения при наблюдениях за стабильностью магнита синхрофазотрона, положением технологического оборудования каналов транспортировки пучков в здании 205 ЛВЭ: Научно-техн. отчет. 318-ВИ-ПД-2. ГСПИ, 1985.

3. Высокоточные геодезические измерения при наблюдениях за стабильностью магнита синхротрона ЛВЭ: Научно-техн. отчет. 318-ВИ-ПД-4. ГСПИ, 1990.
4. *Wenninger J.* Linear Imperfections // Proc. of the 2018 CERN Accel. School Course on Beam Instrumentation, Tuusula, Finland, 2018. 2021. P. 241–270.

Получено 18 ноября 2022 г.