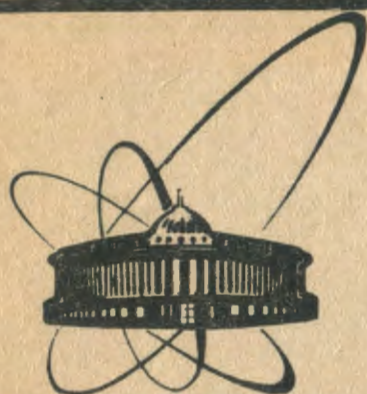


89-158



сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
дубна

И 889

9-89-158

И.Б.Иссинский, С.А.Новиков, В.В.Селезнев,
О.Н.Цисляк, В.И.Черников

ДИПОЛЬНЫЙ МАГНИТ
И КВАДРУПОЛЬНАЯ ЛИНЗА
ДЛЯ ВТОРОГО МЕДЛЕННОГО ВЫВОДА ПУЧКА
ИЗ СИНХРОФАЗОТРОНА ОИЯИ

1989

В настоящее время на синхрофазотроне ОИЯИ работают две системы медленного вывода пучка: МВ-1^{1/1} — в направлении экспериментального корпуса №205 и МВ-2^{1/2} — в направлении экспериментального корпуса №1Б. Система МВ-2 была смонтирована на ускорителе в 1984 г. Она предназначена для обеспечения пучками ядер физических установок ОИЯИ в корпусе №1Б.

Отклоняющая система МВ-2 (рис. 1, 2), состоящая из дипольного магнита ВМ-2 и фокусирующей квадрупольной линзы ВЛ-2, расположена в первом прямолинейном промежутке на внутреннем радиусе ускорителя, R_0 — 600 мм от центральной орбиты синхрофазотрона. Магнит и линза расположены на общей подставке транспортного устройства. Основные проектные параметры системы МВ-2 приведены в^{1/1}.

Дальнейшее усовершенствование системы, состоящее в создании краевой

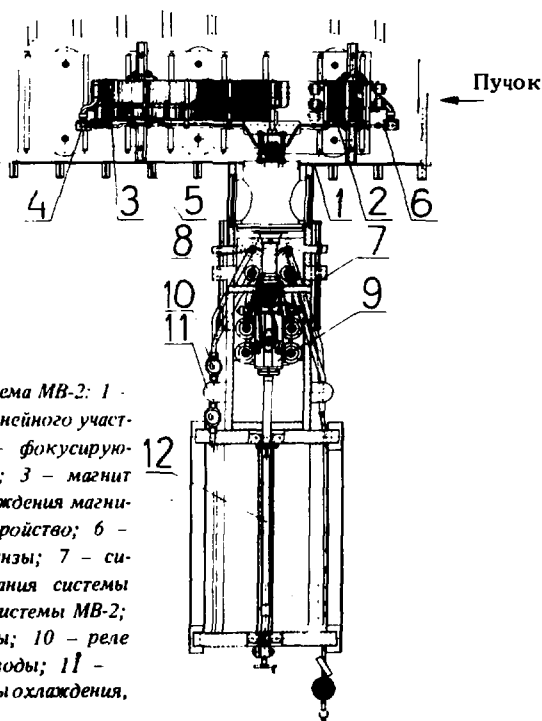


Рис. 1. Отклоняющая система МВ-2: 1 - вакуумная стенка прямолинейного участка синхрофазотрона; 2 - фокусирующая квадрупольная линза; 3 - магнит ВМ-2; 4 - коллектор охлаждения магнита; 5 - транспортное устройство; 6 - коллектор охлаждения линзы; 7 - силовая сборка электропитания системы МВ-2; 8 - шток привода системы МВ-2; 9 - подвижные токовводы; 10 - реле протока охлаждающей воды; 11 - внешний коллектор системы охлаждения, 12 - привод системы МВ-2.

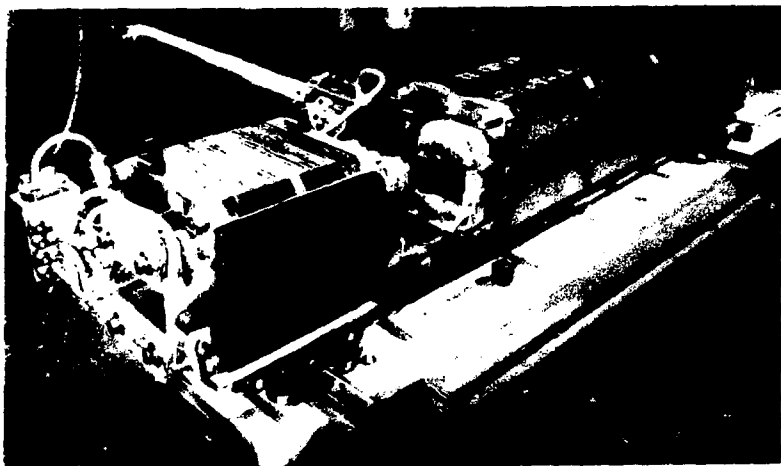
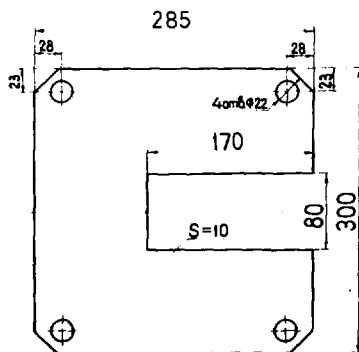


Рис. 2. Отклоняющая система MB-2 после сборки ее на подставке транспортного устройства.

фокусировки (на втором медленном выводе) пучка из ускорителя, выполнено в первой половине 1988 года¹³. Краевая фокусировка осуществлена с целью уменьшения размеров пучка, выводимого из синхрофазотрона, путем шиммирования участка трассы на краю магнита ускорителя полюсными наконечниками, создающими градиент магнитного поля, фокусирующий пучок по горизонтали. После прохождения спадающего краевого поля и фокусирующего узла размеры пучка на входе в канал внешней транспортировки составляют несколько см.



После прохождения спадающего краевого поля и фокусирующего узла размеры пучка на входе в канал внешней транспортировки составляют несколько см.

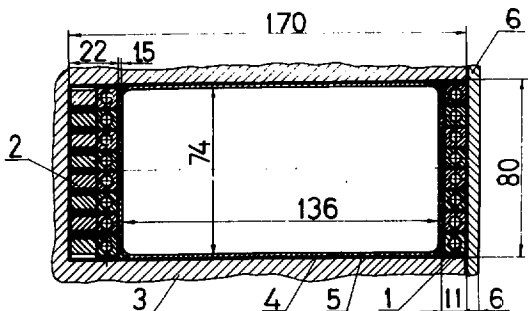
Выводной магнит BM-2 — септумного типа с апертурой $74 \times 136 \text{ мм}^2$: длина магнитопровода — 1250 мм. Максимальное поле в магните BM-2 при токе в импульсе $I_M = 9 \text{ кА}$ составляет $B_M = 1,12 \text{ Тл}$.

Рис. 3. Конфигурация железа магнита BM-2.

Магнитопровод С-образной формы собран из пластин, изготовленных из стали марки ЭАА. Пластины магнитопровода толщиной 10 мм (рис. 3) собраны на четырех стягивающих шпильках из стали и изолированы от них и друг от друга изоляционным лаком. Для крепления магнита к опорной подставке между пластинами магнитопровода вставлены силовые кронштейны, имеющие те же размеры, что и пластины магнитопровода. Силовые кронштейны, кроме крепления магнита к подставке, используются также для закрепления обмотки внутри зазора магнита и на его торцах, для крепления токоподводящих проводников, коллектора охлаждения витков обмотки и штока транспортного устройства.

Обмотка магнита ВМ-2 (рис. 4) состоит из восьми витков медной трубки квадратного сечения $8,2 \times 8,2 \text{ мм}^2$ с отверстием для охлаждения $\phi 5 \text{ мм}$. Общая толщина септума магнита вместе с септумной пластинкой составляет 17 мм. Длина септума — 1320 мм.

Рис. 4. Поперечное сечение обмотки магнита ВМ-2: 1 — септумные витки; 2 — обратные витки; 3 — магнитопровод; 4 — стеклотекстолитовая изоляция обмотки; 5 — внутризазорный прижимной короб; 6 — прижимная септумная пластинка.



С целью уменьшения тепловыделения обратными витками (внутренняя часть обмотки) их сечение увеличено за счет припайки медных шин сечением $6 \times 11 \text{ мм}^2$. Витки обмотки соединены между собой последовательно со стороны коллектора магнита (рис. 5) с помощью медных перемычек, через которые осуществляются ввод и вывод охлаждающей воды. Витки припаяны к перемычкам припоем ПСр-45.

Изоляция обмотки выполнена из стеклотекстолитовой и киперной ленты, пропитанной клеем БФ-4. Толщина изоляции 1 мм. Кроме того, обмотка имеет дополнительную двухслойную изоляцию внахлест стеклотекстолитовой толщиной 0,25 мм для ее бандажирования. Сопротивление обмотки магнита составляет 10^{-2} Ом .

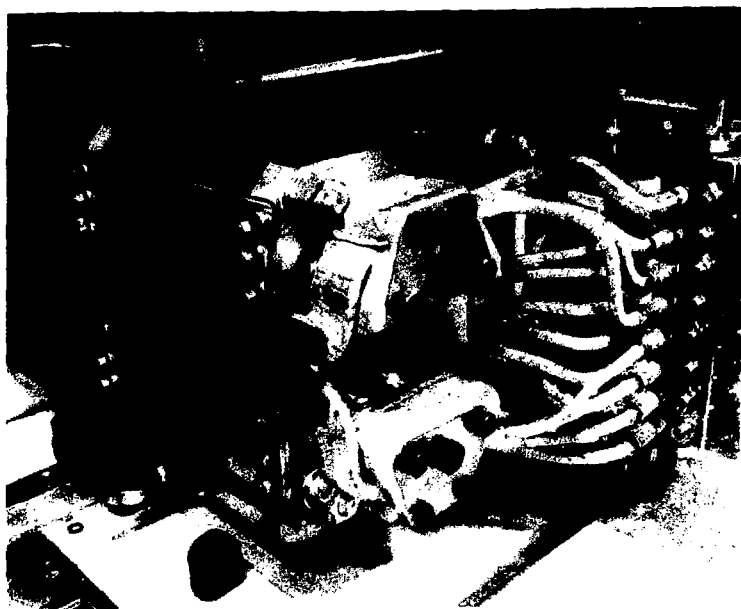


Рис. 5а. Общий вид коллектора магнита ВМ-2.

Коллектор охлаждения магнита (рис. 5) позволяет охлаждать витки обмотки в параллель через медные перемычки (рис. 6), от которых он изолирован стеклотекстолитовой изоляцией. В корпусе коллектора имеются напорный и сливной каналы, каждый из которых имеет восемь ветвей для подключения обмотки. Витки обмотки соединяются с коллектором через переходные штуцеры. Уплотнение штуцеров на вакуум осуществляется через кольца из вакуумно-плотной резины, прижимными фланцами с использованием болтовых соединений. Штуцеры изолированы от корпуса коллектора втулками из стеклотекстолита. Подвод охлаждающей воды к коллектору осуществляется через полые токопроводящие проводники, от которых коллектор изолирован фторопластовой и стеклотекстолитовой изоляцией.

Выводная линза ВЛ-2 — неявнополюсная квадрупольная линза¹⁴¹ (рис. 7) длиной 330 мм имеет прямоугольную апертуру 74x149 мм². Максимальный градиент магнитного поля в линзе ВЛ-2 составляет $G_d =$

Рис. 5б. Схема охлаждения витков обмотки магнита ВМ-2: → — направление протока охлаждающей воды; → — направление протока тепловой воды; K_H, K_C — напорный и сливной коллекторы охлаждения системы МВ-2; УКГ — устройство контроля герметичности трубопроводов контура охлаждения магнита; И — изолятор; U_M — источник электропитания обмотки магнита.

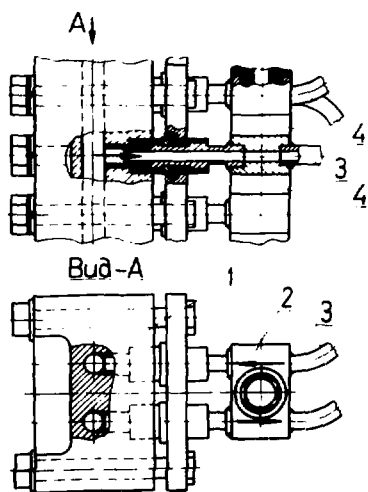
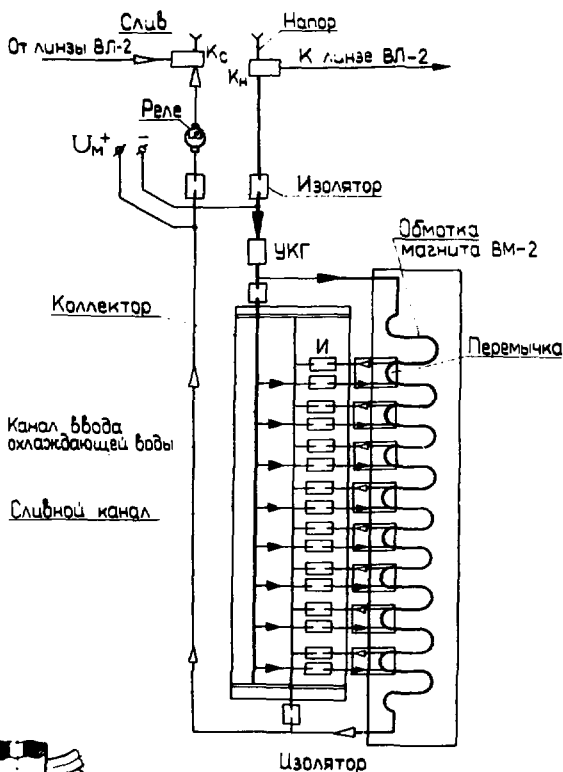


Рис. 6. Присоединение витков обмотки магнита ВМ-2 к коллектору охлаждения: 1 — корпус коллектора; 2 — медная перемычка с II (параллельными штуцерами); 3 — витки обмотки; 4 — изоляторы.

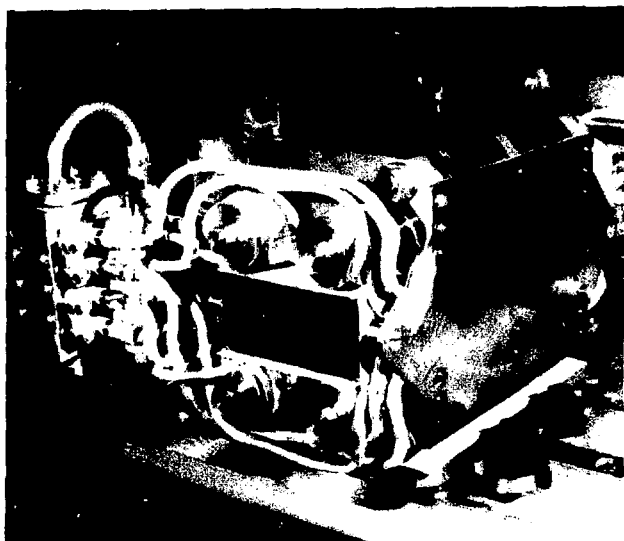


Рис. 7. Общий вид выводной квадрупольной линзы ВЛ-2.

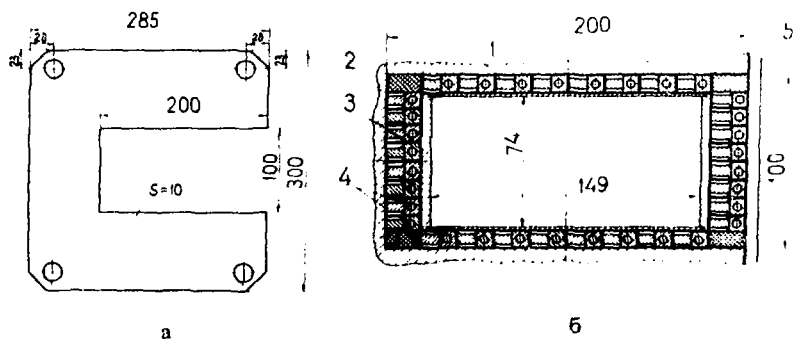


Рис. 8. Поперечное сечение линзы ВЛ-2: а) конфигурация пластин магнитопровода линзы; б) поперечное сечение линзы ВЛ-2; 1 - витки обмотки линзы; 2 - магнитопровод; 3 - внутризазорный прижимной короб; 4 - изоляционные прокладки; 5 - септум линзы ВЛ-2.

$= 1,5$ Тл/м при токе в обмотке $I_n = 1,2$ кА. Магнитопровод линзы (ВЛ-2) С-образного типа с теми же наружными размерами, что и магнит ВМ-2. Пластины магнитопровода (рис. 8), их изоляция, технология сборки магнитопровода и крепление его к подставке транспортного устройства осуществляются так же, как и в магните. С целью уменьшения потерь пучка при выводе, полюс линзы со стороны циркулирующего пучка (септум) имеет малую толщину. Он изготовлен из стали Ст.3 толщиной 6 мм. Суммарная толщина обмотки и септума — 32 мм. Большая по сравнению с магнитом толщина септума не приводит к дополнительным потерям пучка, так как частицы отклоняются в сторону септума (сагитта в магните составляет 29 мм).

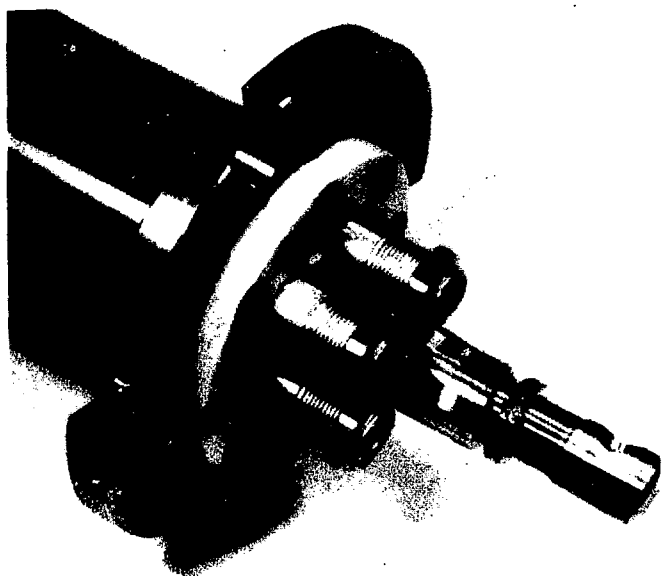
Обмотка квадрупольной линзы ВЛ-2 (рис. 8) рассчитана на градиент до 8 Тл/м. Она имеет по четыре витка на полюс и состоит из четырех однослойных полюсных обмоток, размещенных в апертуре линзы. Витки прямоугольных полюсных обмоток имеют одинаковое сечение и сделаны из того же проводника, что и витки обмотки магнита. Для равномерного распределения градиента напряженности магнитного поля в апертуре линзы к каждому витку полюсной обмотки припаяна дополнительная медная шина сечением 6×11 мм². Соединение полюсных обмоток, их изоляция и охлаждение выполнены, как и в магните. Активное сопротивление обмотки линзы — $5 \cdot 10^{-3}$ Ом.

Коллектор охлаждения линзы ВЛ-2 представляет собой узел, позволяющий осуществлять параллельное охлаждение четырех полюсных обмоток, без вывода их концов из вакуумной камеры синхрофазотрона. Витки полюсной обмотки охлаждаются последовательно. Схема подключения концов полюсных обмоток к коллектору линзы аналогична схеме подключения витков обмотки магнита ВМ-2.

Тоководы. Для ввода тока в обмотки магнита и линзы служит штوك системы (рис.9). Внутри штока проходят четыре медных охлаждаемых водой проводника, изготовленных из трубок сечением $\phi 18 \times 3$ мм². Присоединение проводников к обмоткам ВМ-2 и ВЛ-2 системы МВ-2 внутри камеры синхрофазотрона осуществляется с помощью переходников с герметичными резьбовыми разъемами. Использован один тип резьбового разъема — через токонесущую гайку с левой и правой резьбой. Для наружного соединения тоководов с шинным устройством источников питания системы МВ-2 (рис. 10) используются гибкие охлаждаемые водой тоководопроводы. Они представляют собой многопрово-



а



б

Рис. 9. Шток системы MB-2: а) общий вид; б) тоководы магнита и линзы (со стороны камеры ускорителя).

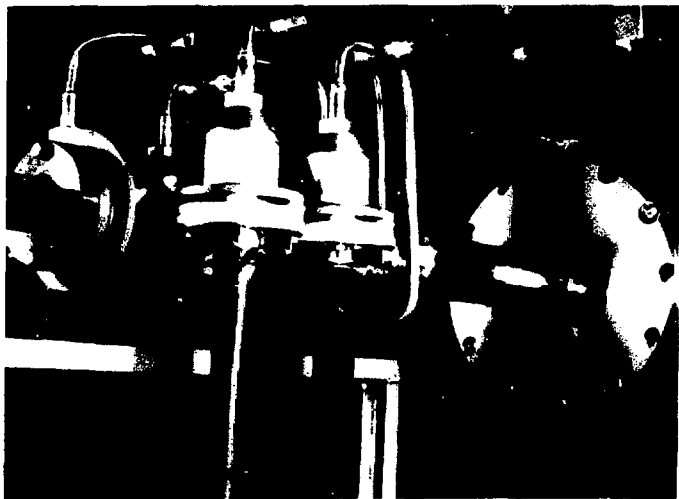


Рис. 10. Соединение тоководов с тоководоподаводами системы электропитания магнита и линзы.

лочные медные проводники сечением $S = 130 \text{ мм}^2$, заключенные в дюритовые шланги. На входе тоководов системы МВ-2 в штوك привода с наружной стороны имеются устройства для контроля вакуумной герметичности трубопроводов охлаждения магнита и линзы без разборки токовых резьбовых соединений системы.

Система охлаждения МВ-2. Система охлаждения МВ-2 (рис. 11) включает в себя: напорную магистраль, снабженную фильтром и манометром, с возможностью регулировки давления на входе в систему охлаждения магнита и линзы; два контура охлаждения — ВМ-2 и ВЛ-2, питающихся от напорного коллектора системы, расположенного вне камеры ускорителя. Каждый контур охлаждения имеет свой коллектор, расположенный внутри камеры ускорителя и реле протока охлаждающей воды вне камеры синхрофазотрона. Подводящая магистраль охлаждения системы МВ-2 имеет максимальное рабочее давление воды 6 аТи (0,6 МПа). При работе системы МВ-2 давление охлаждающей дистиллированной воды, имеющей омическое сопротивление более 5 кОм, на входе в систему составляет $P = 3 \text{ аТи}$ (0,3 МПа).

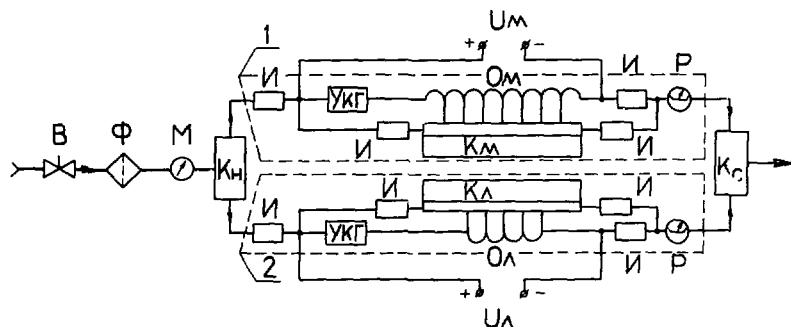


Рис. 11. Общая схема охлаждения системы MB-2: В – вентиль; Ф – фильтр; М – манометр давления; K_H, K_C – напорный и сливной коллекторы магнита и линзы; 1, 2 – контуры охлаждения магнита и линзы; И – изоляторы; УКГ – устройство для контроля вакуумной герметичности тоководов; Р – реле протока охлаждающей воды в контуре ВМ-2, ВЛ-2; O_M, O_L – обмотки магнита и линзы; K_M, K_L – коллекторы магнита и линзы; U_M, U_L – тоководы питания обмоток магнита и линзы.

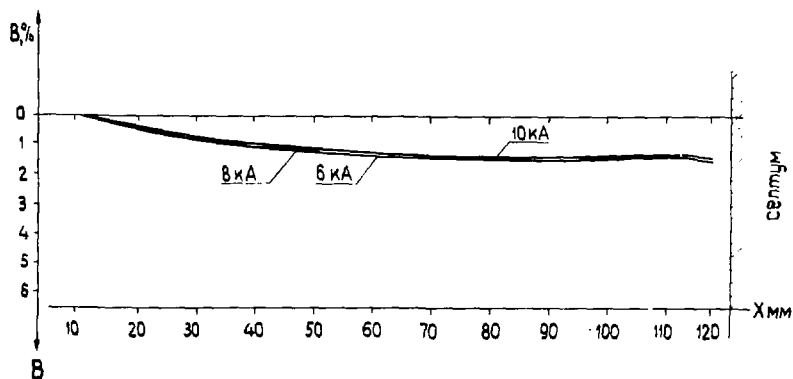


Рис. 12. Распределение магнитного поля в зазоре магнита MB-2 при разных токах ($B = 1,25$ Т при $I = 10$ кА; $B = 1$ Т при $I = 8$ кА; $B = 0,75$ Т при $I = 6$ кА).

Привод системы МВ-2. Для установки магнита и линзы на рабочий радиус синхрофазотрона при выводе пучка система МВ-2 снабжена механизмом передвижения, который состоит из привода, транспортного устройства (ТУ) внутри камеры ускорителя и соединительного вакуумируемого штока привода системы. Величина регулировки положения ТУ по радиусу позволяет устанавливать систему МВ-2 в положение от $R_0 - 750$ мм до $R_0 - 500$ мм от центральной орбиты синхрофазотрона. Транспортное устройство имеет регулировку по высоте и углу.

Характеристики магнитного поля МВ-2 и ВЛ-2. Измерение характеристик магнитного поля магнита МВ-2 и линзы ВЛ-2 производилось интегральными катушками, азимутальный размер которых превышал эффективную длину магнитопровода МВ-2 и ВЛ-2. Проводились измерения интегрального значения поля в средней плоскости зазора при различных значениях тока. На рис. 12 показано распределение магнитного поля в зазоре МВ-2, на рис. 13 — распределение его рассеянного магнитного поля с внешней стороны септума. Характеристики магнитного поля внутри зазора квадрупольной линзы и ее рассеянное поле приведены на рис. 14, 15.

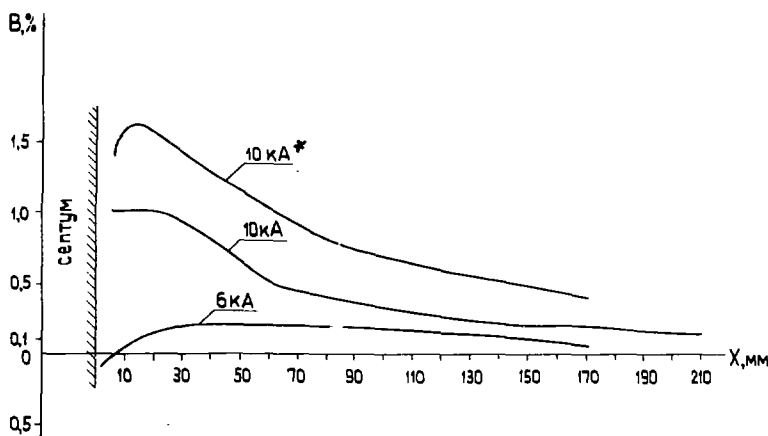


Рис. 13. Распределение рассеянного магнитного поля магнита МВ-2 с внешней стороны септума при разных токах ($B = 1,25$ Т при $I = 10$ кА; $B = 0,75$ Т при $I = 6$ кА). * — кривая магнитного поля до коррекции магнита.

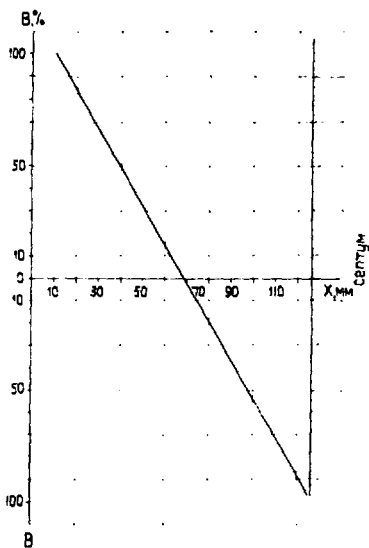


Рис. 14. Магнитное поле внутри зазора линзы ВЛ-2 ($G = 3,23 \text{ Т/м}$ при токе $I = 2,5 \text{ кА}$).

Система контроля параметров МВ-2. При работе системы МВ-2 осуществляется контроль следующих параметров:

а) перегрев обмоток магнита и линзы;

б) проток охлаждающей воды через обмотки магнита и линзы с использованием реле протока в контурах охлаждения магнита и линзы;

в) вакуум в прямолинейном участке ускорителя, где расположена система МВ-2.

В заключение авторы выражают благодарность всем сотрудникам

коллектива ЦОЭП ЛВЭ, принимавших участие в изготовлении и монтаже отклоняющей системы МВ-2 на синхрофазотроне, Л.П.Зиновьеву за полезные обсуждения при создании системы МВ-2, И.Н.Осетрову за

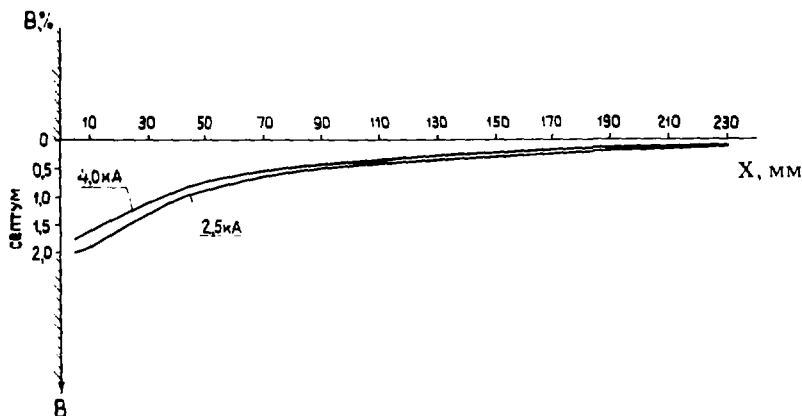


Рис. 15. Рассеянное поле за септумом линзы ВЛ-2 при разных токах ($G = 5,17 \text{ Т/м}$ при $I = 4 \text{ кА}$; $G = 3,23 \text{ Т/м}$ при токе $I = 2,5 \text{ кА}$).

помощь при изготовлении обмоток магнита и линзы, Ю.А.Дудкину — за проведение вакуумных испытаний узлов системы, а также сотрудникам сектора №1 научно-экспериментального отдела пучков ЛВЭ В.С.Миронову, Ю.Ф.Кусагину за участие в испытаниях и монтаже узлов системы МВ-2 на ускорителе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Василишин Б.В. и др. — ОИЯИ, Р9-6973, Дубна, 1973.
2. Булдаковский В.Н. и др. — ОИЯИ, 9-86-174, Дубна, 1986.
3. Василишин Б.В. и др. — Аннотации докладов XI Вс. совещания по УЗЧ, Р9-88-738, Дубна, 1988, с.183.
4. Hand L.N., Panofsky W.K.H. — Rev. Sci. Instr., 1959, v.30, p.927.

Рукопись поступила в издательский отдел
10 марта 1989 года.