

СЗУ511

А-465

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



У718/2-78

P9 - 11663

В.С.Александров, Ю.И.Алексахин, В.М.Лачинов,
В.К.Маковеев, Э.А.Перельштейн, В.П.Саранцев,
В.Н.Тимохин, В.В.Чалышев

ФОРМИРОВАНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ
УСКОРЯЮЩЕЙ МАГНИТНОЙ СИСТЕМЫ
ПРОТОТИПА КОЛЛЕКТИВНОГО УСКОРИТЕЛЯ
ТЯЖЕЛЫХ ИОНОВ

1978

Р9 - 11663

В.С.Александров, Ю.И.Алексахин, В.М.Лачинов,
В.К.Маковеев, Э.А.Перельштейн, В.П.Саранцев,
В.Н.Тимохин, В.В.Чалышев

ФОРМИРОВАНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ
УСКОРЯЮЩЕЙ МАГНИТНОЙ СИСТЕМЫ
ПРОТОТИПА КОЛЛЕКТИВНОГО УСКОРИТЕЛЯ
ТЯЖЕЛЫХ ИОНОВ



Формирование магнитного поля ускоряющей магнитной системы прототипа коллективного ускорителя тяжелых ионов

Изложены результаты формирования импульсного магнитного поля ускоряющей магнитной системы прототипа коллективного ускорителя тяжелых ионов. Проведено измерение распределения магнитного поля на участке ускорения. Относительный градиент $\frac{1}{B_z} \frac{\partial B_z}{\partial z}$ близок к расчетному и составляет в среднем $4,5 \cdot 10^{-3} \text{ см}^{-1}$. Исследование зависимости распределения магнитного поля на выводном участке от параметров магнитной системы и моделирование процесса вывода электронно-ионного кольца на участок ускорения позволило выбрать режим, в котором градиенты не превышают расчетных предельно допустимых значений. На выводном участке произведены измерения азимутальных неоднородностей магнитного поля и искажений, вызываемых элементами конструкции ускорителя. Выявлен характер искажений, вносимых разомкнутым соленоидом в магнитное поле в медианной плоскости камеры ускорителя. Определены параметры корректирующего соленоида. Приводится описание установки для формирования и измерения магнитного поля и измерительной аппаратуры.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1978

Formation of the Magnetic Field of the Accelerating Magnetic System for the Heavy Ion Collective Accelerator Prototype

The results of the pulse magnetic field formation of the accelerating magnetic system for the heavy ion collective accelerator prototype are presented. Magnetic field distribution in the acceleration region is measured. The relative gradient $\frac{1}{B_z} \frac{\partial B_z}{\partial z}$ is close to the calculated one and equals $4,5 \cdot 10^{-3} \text{ см}^{-1}$. The investigation of the dependence of magnetic field distribution in the roll-out region on the magnetic system parameters and simulation of the electron-ion ring roll-out allowed to find a regime in which gradients do not exceed the calculated maximum permissible values. Azimuthal inhomogeneity and the influence of accelerator construction elements are estimated. Particularities of the magnetic field median plane distortions caused by the solenoid are determined and correcting solenoid parameters are chosen. A set up for the formation and measurement of magnetic field and the measurement techniques are described.

The investigation has been performed at the Department of New Acceleration Methods, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1978

ВВЕДЕНИЕ

В прототипе коллективного ускорителя тяжелых ионов /КУТИ/^{1/} используется магнитный способ ускорения электронно-ионных колец. Магнитное поле создается ускоряющей магнитной системой, рассчитанной в работе^{2/} и состоящей из катушек последней /III/ ступени сжатия и выводного соленоида с неравномерной плотностью намотки /рис. 1/. Магнитная система обеспечивает сжатие электронного кольца от радиуса $9 \div 11 \text{ см}$ до конечного радиуса $\sim 4 \text{ см}$; медленный вывод кольца, нагруженного ионами, на начало участка ускорения $/z = 7 \div 18 \text{ см}/$ и ускорение его в линейно спадающем поле соленоида до $Z \approx 82 \text{ см}$. Вывод кольца происходит в магнитной потенциальной яме. Смещение магнитной ямы и уменьшение потенциального барьера в направлении вывода достигается путем шунтирования одной из катушек III ступени. Время вывода составляет $\sim 0,5 \text{ мс}$. Изменением магнитного поля за время ускорения $/\sim 10^{-7} \text{ с}/$ на фиксированном радиусе можно пренебречь.

В задачи магнитных измерений входило:

а/ измерение распределения магнитного поля $B_z(z)$ на участке ускорения /расчетные значения градиентов $\partial B_z / B_z \partial z \approx 5 \div 6 / 10^{-3} \text{ см}^{-1}$ /^{2/};

б/ исследование зависимости распределения $B_z(z)$ на выводном участке от параметров магнитной системы и выбор режима вывода, в котором градиенты не превышают расчетных;

в/ измерение и коррекция искажений медианной плоскости магнитного поля, вносимых полями вихревых токов, индуцированных в разомкнутом соленоиде;

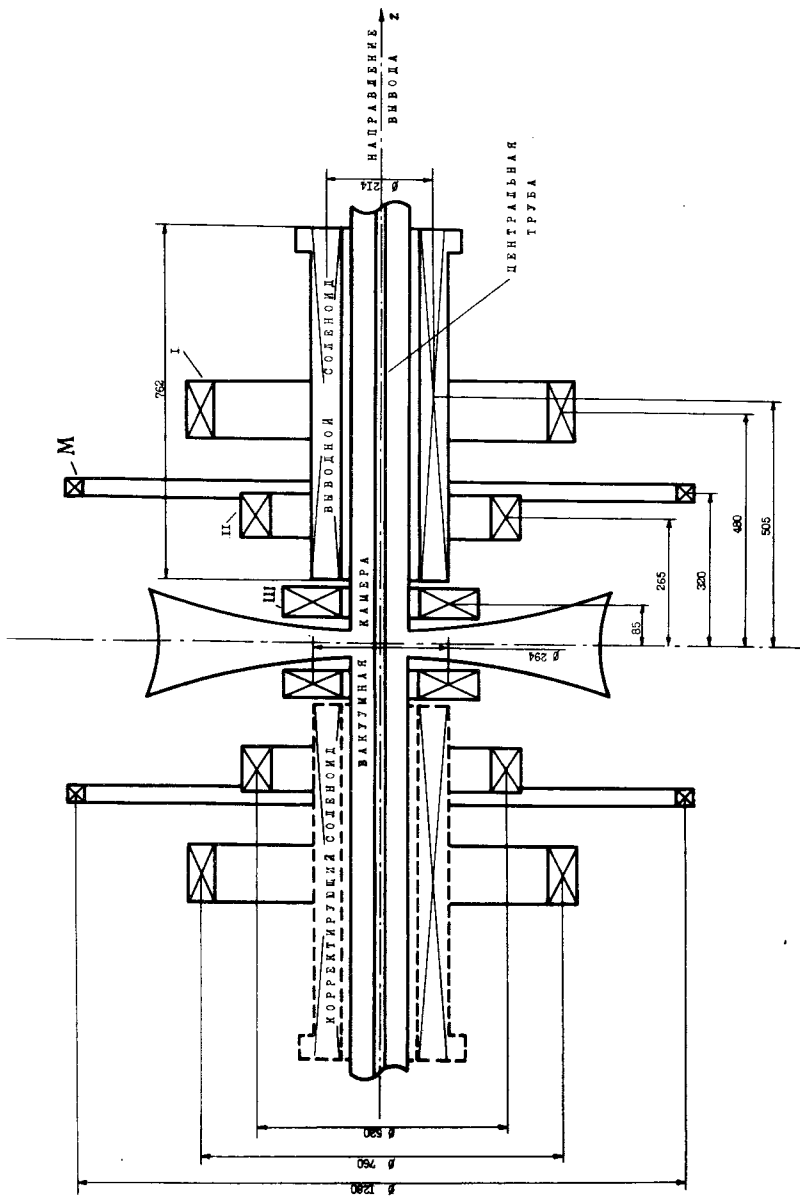


Рис. 1. Схема расположения катушек магнитной системы адгезатора.

г/ выявление азимутальных неоднородностей на выводном участке;

д/ оценка влияния элементов конструкции на магнитное поле.

Основной объем измерений выполнен при 20%-ных напряжениях системы питания. Окончательная проверка проводилась при полных напряжениях.

ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ АППАРАТУРА

Измерения распределений во времени и пространстве мгновенных значений импульсных магнитных полей ускоряющей системы КУТИ проводились с помощью холловского магнитометра МИХ-2^{3/}. В измерениях впервые был использован новый блок выходного усилителя для МИХ-2 с отрицательной запаздывающей обратной связью^{4/}. Это усовершенствование позволило автоматизировать установку выходного смещения при различных режимах работы магнитометра, устранить погрешность измерения от дрейфа усилителей и значительно подавить индукционные и сетевые наводки в полосе частот до 10 кГц в измерительном канале, что существенно упростило работу аппаратуры вблизи ускорителя при высоком уровне помех. Аппаратурная погрешность измерений определялась разрядностью цифрового регистратора и составляла ~0,1%.

Установка датчика магнитометра в заданную точку измеряемого объема осуществлялась специальным механическим устройством с моторным приводом - координатором. Координатор обеспечивает перемещение датчика в выводном патрубке адгезатора КУТИ /при фиксированном радиусе 4,5 см/ по азимуту в диапазоне $\phi = 30 \div 350^\circ$ с шагом 1° и по оси z - в пределах $0 \div 1125$ мм с шагом перемещения 0,1 мм. Время полного прохождения диапазона по z равно 9 мин, по ϕ - 30 с.

Перемещение координатора по z и ϕ производится с помощью местной или дистанционной электронной системы управления. Схема одного канала управления показана на рис. 2. Входной блок и его блок питания закреплены на основании координатора. Приводной двигатель

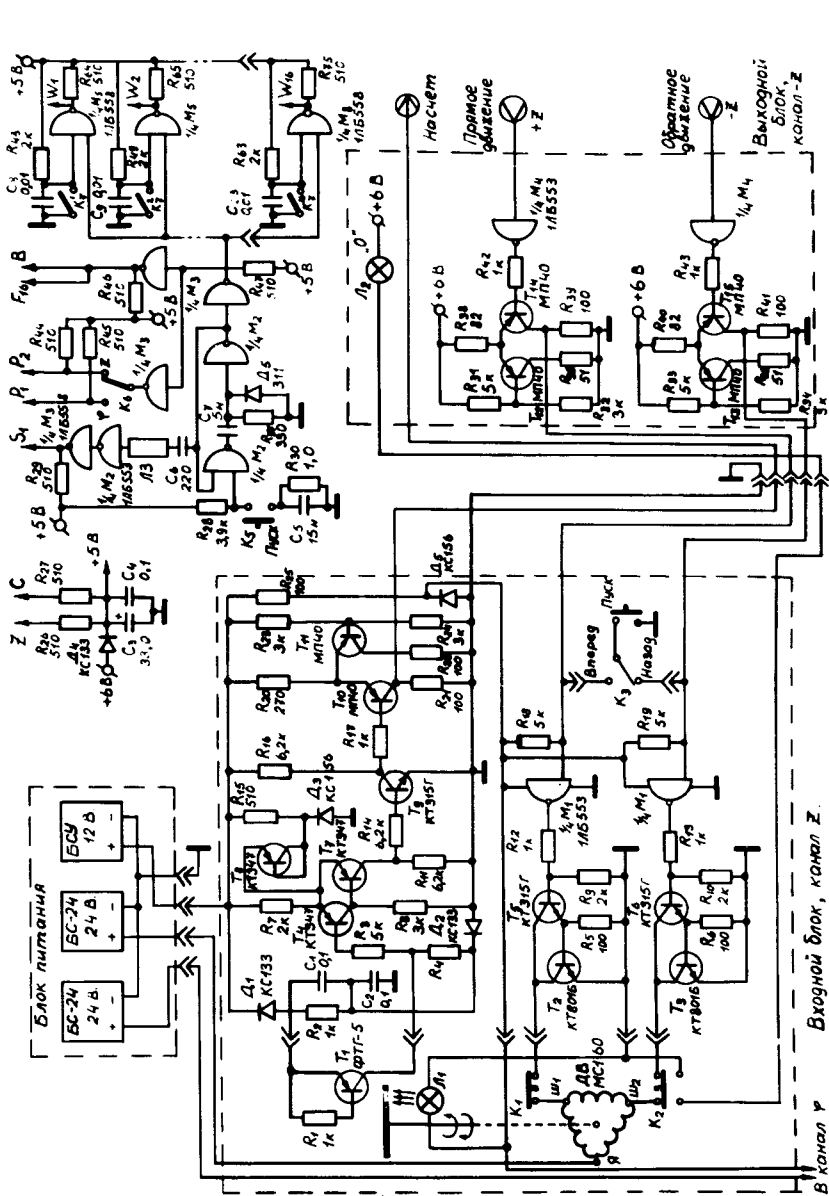


Рис. 2. Схема дистанционного управления положением датчика магнитометра.

/МС 160/ включается для прямого или обратного движения через соответствующие концевые выключатели K_1 и K_2 , ограничивающие перемещения датчика, и через транзисторы T_2 , T_5 или T_3 , T_6 . Последние управляются через инверторы M_1 либо ключами K_3 /“вперед“, “назад“/ и K_4 /“пуск“/ при местном управлении, либо дистанционно сигналами из выходного блока. Для регистрации количества оборотов двигателя /или перемещения датчика/ на его оси установлен диск с окнами /8 окон для координаты z , 3 окна для ϕ /, через которые лампа L_1 засвечивает фототранзистор T_1 . Импульсы с T_1 формируются триггером Шмитта / T_4 , T_7 , T_8 / и через транзисторы T_9 , T_{10} и выходной блок поступают на вход счетчика.

Выходной блок располагается на расстоянии до 50 м в соответствующем крейте вместе с двумя стандартными четырехразрядными десятичными реверсивными счетчиками, разработанными в ОЯФ ОНМУ. Все блоки выполнены в стандарте КАМАК. При ручном задании координаты /например, z / нажимаются нужные клавиши 16-контактного ключа K_7 , соответствующие в двоично-десятичном коде значению z . При нажатии кнопки K_5 /“пуск“/ с помощью M_2 , M_3 формируются требуемые сигналы на шинах F_{16} , B , S_1 , P_1 или P_2 , а через $M_5 \div M_8$ по шинам значение координаты записывается в регистре памяти реверсивного счетчика. Если текущее значение счетчика не равно заданному, то на одном из двух выходов счетчика $+Z$ или $-Z$ появляется сигнал, включающий через M_4 , $T_{12} \div T_{15}$ прямое или обратное перемещение датчика. На вход счетчика поступают импульсы до тех пор, пока текущее и заданное значения счетчика не сравняются, после чего отключается сигнал движения. При работе на линии с ЭВМ запись требуемой координаты по W -шинам осуществляется от ЭВМ согласно программе измерений. Начальное положение датчика индицируется лампой L_2 при срабатывании концевого выключателя K_2 .

Основной вклад в погрешность измерений вносили отклонения амплитуд токов в катушках III ступени и соленоиде от номинальных. Контроль токов производил-

ся с помощью цифровых электронных блоков, обеспечивающих относительную точность установки амплитуд не хуже $4 \cdot 10^{-3}$.

Для оценки результирующей погрешности была проведена серия из 100 измерений при фиксированном положении датчика. Среднеквадратичная ошибка составляла $5 \cdot 10^{-4} T$ на уровне $0,28 T$. При измерениях в каждой точке производилось 4 отсчета.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ

1. Измерение распределений $B_z(z)$.

Выбор выводного режима магнитной системы.

Конфигурация магнитного поля на выводном участке определяется следующими параметрами магнитной системы:

- 1/ соотношением напряжений III ступени и соленоида U_3 и U_C ;
- 2/ моментом времени шунтировки t_{III} , который влияет на соотношение токов в катушках III ступени;
- 3/ моментом времени включения соленоида t_C .

Распределение магнитного поля на участке ускорения определяется в основном линейной плотностью тока в соленоиде.

При выборе режимов работы магнитной системы учитывались следующие исходные требования:

а/ рассогласование максимумов токов в соленоиде и III ступени не должно превышать 50 мкс;

б/ яма в распределении $B_z(z)$ должна сниматься в момент времени, близкий к максимуму магнитного поля (t_{\max});

в/ при временах $t < t_{\max}$ в распределении $B_z(z)$ на выводном участке должен присутствовать ярко выраженный минимум, иначе ускорение может начинаться при слишком больших градиентах магнитного поля.

Измерения проводились при расчетных значениях напряжений на накопительных емкостях системы пита-

ния. Моменты времени включения ступеней были выбраны из расчетов^{/5/} и экспериментов по формированию электронных колец в адгезаторе КУТИ^{/6/}. Совмещение максимумов токов III ступени и соленоида производилось путем изменения t_C . При поиске выводного режима варьировались t_{III} и U_C . Распределения $B_z(z)$ снимались на радиусе 4,5 см для трех моментов времени: t_{\max} , $t_{\max} - 100$ мкс и $t_{\max} - 200$ мкс, которым на графиках соответствуют индексы 1,2,3.

Основные результаты измерений представлены на рис. 3-6. Кривые рис. 3-5 получены при 20%-ных напряжениях системы питания магнитного поля, кривые рис. 6 - при полных.

На рис. 3 показано распределение магнитного поля

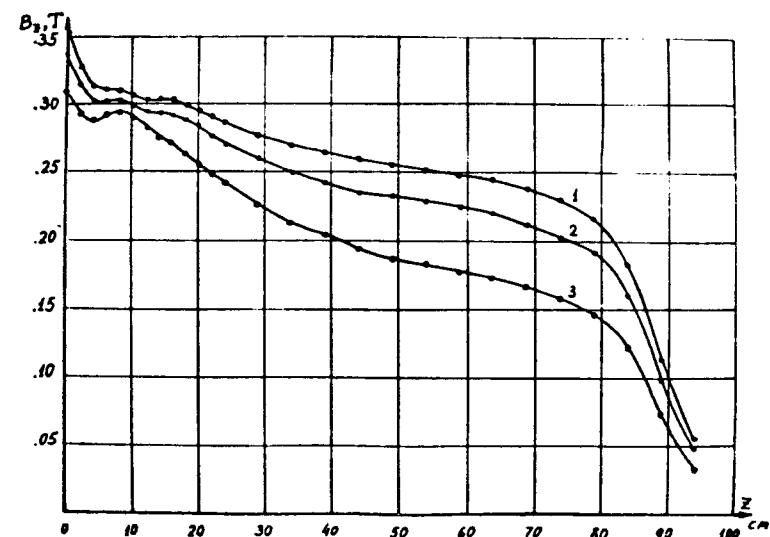


Рис. 3. Распределения магнитного поля $B_z(z)$ на всей длине ускорителя для трех моментов времени: $t_1 = 1,7$ мс /1/, $t_2 = 1,6$ мс /2/, $t_3 = 1,5$ мс /3/, $U_C = 2,5$ кВ.

$B_z(z)$ на всей длине ускорителя при расчетных значениях $t_{III} = t_3 + 340$ мкс и $U_C = 2,5$ кВ ($t_C = t_3 + 300$ мкс, $t_3 = 950$ мкс, $U_3 = 4,5$ кВ). Относительные

градиенты магнитного поля в интервале $z = 30 \div 70$ см составляют $(3 \div 6) \cdot 10^{-3} \text{ см}^{-1}$, в интервале $z = 9 \div 30$ см достигают $(1 \div 2) \cdot 10^{-2} \text{ см}^{-1}$ (рис. 3, кривая I).

Рис. 4 иллюстрирует зависимость распределений $B_z(z)$ на выводном участке от t_{III} при фиксированном U_C . С увеличением t_{III} от $t_3 + 340$ мкс /рис. 4б/ до $t_3 + 390$ мкс /рис. 4а/ яма в распределении $B_z(z)$ не снимается и не сдвигается дальше $z \approx 4$ см /рис. 4а/. Уменьшение t_{III} в некоторых пределах приводит к тому, что снятие ямы происходит до максимума магнитного поля /кривая 2, рис. 4в/.

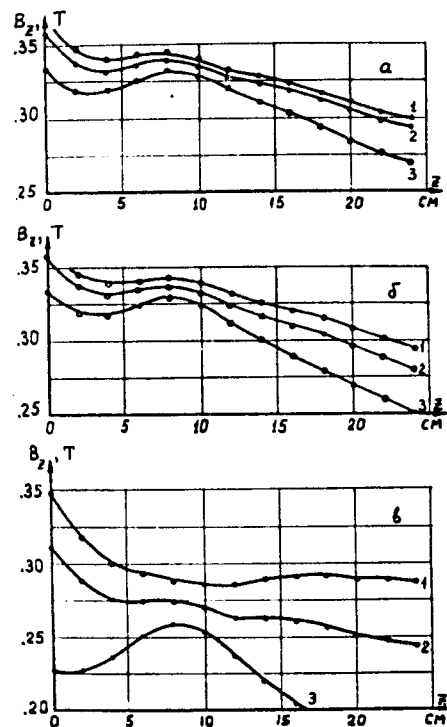


Рис. 4. Распределения $B_z(z)$ на выводном участке при $t_{III} = t_3 + 390$ мкс /а/, $t_{III} = t_3 + 340$ мкс /б/, $t_{III} = t_3 + 300$ мкс /в/ для трех моментов времени t_1, t_2, t_3 . $U_C = 2,5$ кВ.

Зависимость распределения магнитного поля выводного участка от напряжения на соленоиде демонстрируется рис. 5. Кривые А, Б, В соответствуют U_C , увеличенному соответственно на 3, 6 и 9% по сравнению с U_C , рис. 3 ($t_{III} = t_3 + 300$ мкс). Градиенты магнитного поля в интервале $z = 15 \div 30$ см уменьшены до $5 \cdot 10^{-3} \text{ см}^{-1}$ /кривые Б1 и В1/, в интервале $z = 9 \div 14$ см достигают $(8 \div 9) \cdot 10^{-3} \text{ см}^{-1}$.

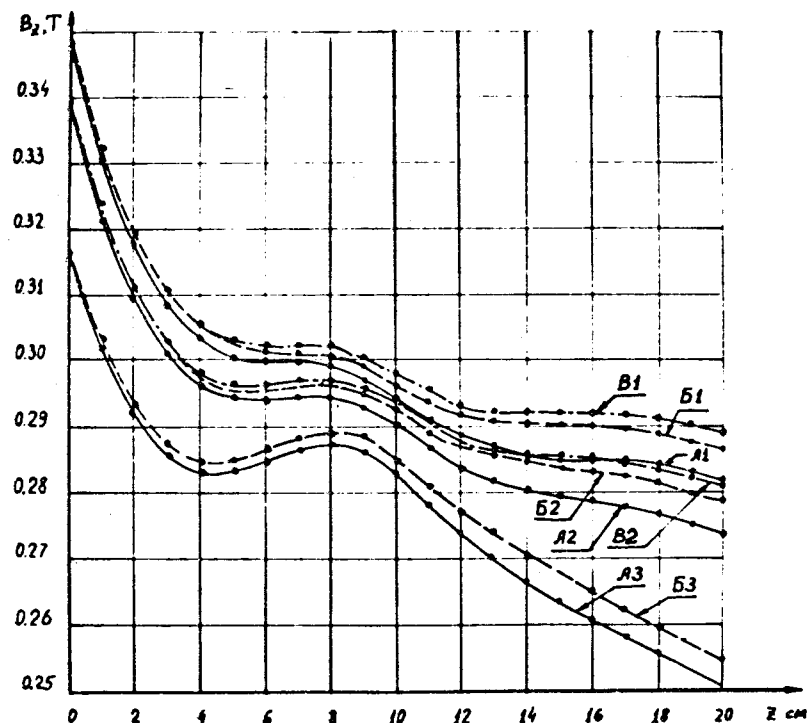


Рис. 5. Распределения $B_z(z)$ на выводном участке при U_C , равном 2,57 кВ /А/; 2,65 кВ /Б/; 2,72 кВ /В/ для моментов времени t_1, t_2, t_3 . $t_{III} = t_3 + 300$ мкс.

Результаты, представленные на рис. 6, получены при полных напряжениях, кривые А1 - А3 - в режиме: $U_3 = 22,5$ кВ, $U_C = 12,5$ кВ, $t_C = t_3 + 300$ мкс, $t_{III} =$

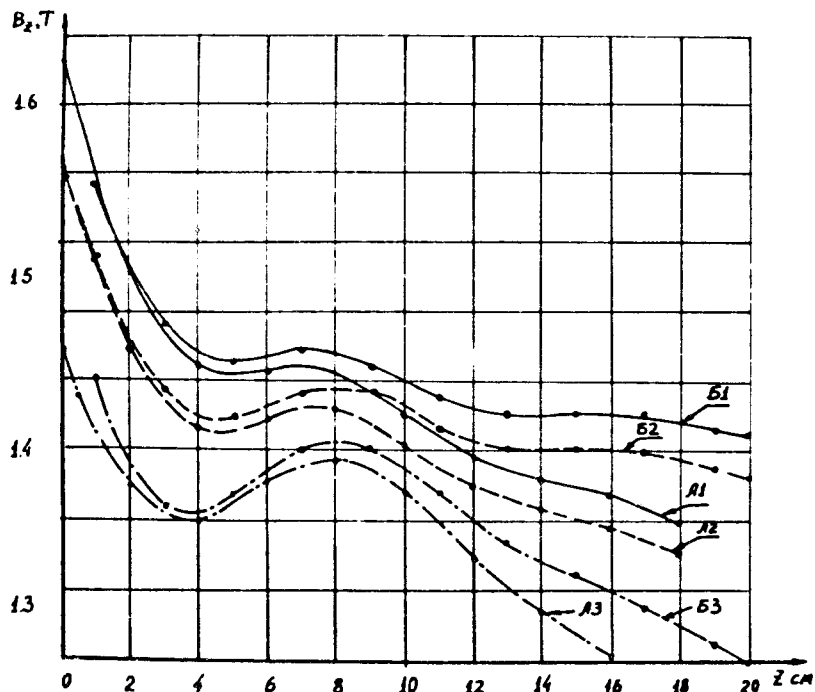


Рис. 6. Распределения $B_z(z)$ на выводном участке при полных напряжениях питания: $U_3 = 22,5$ кВ, $U_C = 12,5$ кВ /кривые А/; $U_3 = 22,5$ кВ, $U_C = 13,0$ кВ /кривые Б/ для трех моментов времени t_1 , t_2 , t_3 . $t_C = t_3 + 300$ мкс, $t_{III} = t_3 + 320$ мкс.

$t_3 + 320$ мкс; кривые Б1 - Б3 соответствуют $U_C = 13$ кВ. Режим, соответствующий кривым Б рис. 6, был рекомендован для экспериментов по ускорению электронно-ионных колец в прототипе КУТИ.

Для изучения возможности уменьшения градиентов в интервале $z = 9 \div 14$ см процесс вывода электронного кольца из камеры адгезатора моделировался на ЭВМ. На рис. 7 показаны распределения градиентов магнитного поля в момент снятия ямы для трех значений U_C /10; 11 и 12,5 кВ/ при различных t_{III} . Рисунку 7а соответствуют максимально допустимые значения t_{III} , при которых еще возможно снятие ямы: $t_3 + 390$ мкс

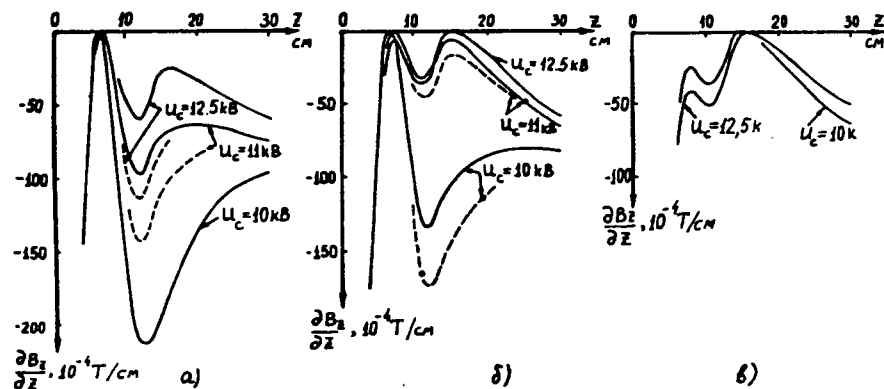


Рис. 7. Расчетные распределения $\partial \bar{B}_z / \partial z$ в момент снятия ямы для различных U_C при максимальных t_{III} /а/, при t_{III} , уменьшенных на 20 мкс /б/ и на 60 мкс, /в/.

($U_C = 10$ кВ), $t_3 + 370$ мкс (11 кВ) и $t_3 + 350$ мкс (12,5 кВ). Кривые рис. 7б получены при t_{III} , уменьшенных на 20 мкс, рис. 7в - на 60 мкс от максимальных.

Из рис. 7 видно, что в зависимости от выбора U_C и t_{III} снятие ямы может происходить в двух точках: $z \approx 7$ см и $z \approx 18$ см. (В точке снятия ямы градиент равен 0). Первому случаю ($z \approx 7$ см) соответствуют большие значения t_{III} и градиентов вблизи 12 см. Причем, величина максимальных градиентов оказывается критичной к точности выбора t_C и U_C . Пунктиром на рис. 7 показаны градиенты для t_C , измененного на 40 мкс. Снятие ямы происходит вблизи максимума магнитного поля $t_{макс}$. При уменьшении t_{III} на 20 ÷ 40 мкс от максимально допустимого снятие ямы происходит за 50 ÷ 100 мкс до $t_{макс}$.

Второй случай реализуется при уменьшении t_{III} на 50 ÷ 60 мкс от максимально допустимых значений и характеризуется тем, что яма сдвигается за область больших градиентов. Причем, режим оказывается устойчивым к изменениям t_C в пределах 100 мкс и U_C в пределах 10 ÷ 20%. При переходе в этот режим при уменьшении

t_{III} момент снятия ямы скачком сдвигается за максимум магнитного поля приблизительно на 100 мкс.

В экспериментах на прототипе КУТИ^{/7/} наблюдались оба режима вывода. При ускорении ионов использовался первый режим, поскольку в нем удалось наиболее просто устранить азимутальную неоднородность магнитного поля на выводном участке.

2. Измерение искажений, вносимых соленоидом. Коррекция положения медианной плоскости магнитного поля.

Искажения импульсного магнитного поля многовитковыми разомкнутыми катушками, расположенными достаточно близко к медианной плоскости камеры, вызывают различного рода неустойчивости электронного кольца^{/8-11/}. В узкой металлической камере адгезатора наиболее опасным является когерентное смещение кольца на стенку, которое вызывается силами зарядовых изображений при несовпадении медианных плоскостей магнитного поля и камеры^{/12/}.

Сдвиг медианной плоскости магнитного поля происходит за счет полей вихревых токов, индуцированных в витках соленоида. Амплитуда и фаза токов определяются проводимостью и размерами сечения проводника^{/9,11/}.

Использование многожильного кабеля, проводимость которого для вихревых токов снижена по сравнению со сплошным проводником за счет переходных сопротивлений между жилами, оказалось неэффективным. В экспериментах по изучению динамики электронного кольца^{/10/} наблюдалось разрушение кольца, которое происходило после захвата пучка магнитным полем.

В измерениях снимались зависимости $B_z(z)$ в области $r = /10 \div 35/$ см, $z = /-2 \div 2/$ см в интервале $0 \div 1,4$ мс. Аксиальное смещение ямы магнитного поля в диапазоне $r = 25 \div 35$ см достигало по порядку величины 1 см.

Для компенсации смещения использовался двухслойный корректирующий соленоид /рис. 1/ со встречным

направлением намотки во внутреннем и внешнем слоях. Геометрические размеры соленоида: внутренний, внешний радиусы и длина - соответствовали размерам выводного соленоида. Количество и сечение витков были выбраны таким образом, чтобы постоянная времени τ_k корректирующего соленоида превышала характерное время переходных процессов ($\sim 0,5$ мс^{/11/}) в витках выводного соленоида. При 40 витках кабеля сечением 50 мм² индуктивность и сопротивление составляли соответственно 20 мкГ и 10^{-2} Ом ($\tau_k = 2$ мс). Вариации постоянной времени, амплитуды корректирующего поля и его распределения осуществлялись путем изменения величины шунтирующего слоя сопротивления R_{III} и положения корректирующего соленоида.

Измерения показали, что полностью компенсировать искажения во всем диапазоне радиусов не удастся. Это связано с различиями в распределении индуцированных токов: однородным по длине в корректирующем соленоиде и соответствующем распределению $B_z(z)$ - в выводном. Для экспериментов с пучком были рекомендованы следующие значения: $R_{III} \leq 1$ Ом, положение центра корректирующего соленоида $z_k = -47$ см.

Результаты серии экспериментов по изучению динамики электронных колец^{/10/} показали правильность выбора параметров корректирующего соленоида.

3. Азимутальные измерения

В процессе вывода показатель спада магнитного поля меняет знак. При этом возникает целый резонанс $\nu_r = 1 / \nu_r$ - частота радиальных колебаний/, который при наличии азимутальной неоднородности магнитного поля вызывает радиальный дрейф центра электронного кольца. Согласно^{/13/}, для того чтобы дрейф не превышал 1 мм, необходимо иметь амплитуду первой гармоники возмущения магнитного поля, не превышающую $10^{-4} B_z$.

В экспериментах по выводу и ускорению электронных колец в адгезаторе КУТИ наблюдалось отклонение центра кольца от оси ускорителя $\sim 1,5$ см^{/10/}, что указывало

на наличие азимутальной неоднородности, большей чем $10^{-3} B_z$.

Измерения магнитного поля на выводном участке проводились на четырех азимутах ϕ : 30° , 120° , 210° и 300° /относительно вертикали/. Снимались зависимости $B_z(z)$ на радиусе 4,5 см при t , равном $t_{\text{макс}}$, $t_{\text{макс}} - 100$ мкс и $t_{\text{макс}} - 200$ мкс. На рис. 8 показаны соответствующие кривые для трех значений азимута. Из рисунка видно, что отклонения магнитного поля от азимутальной симметрии достигают $\pm 5 \cdot 10^{-3}$.

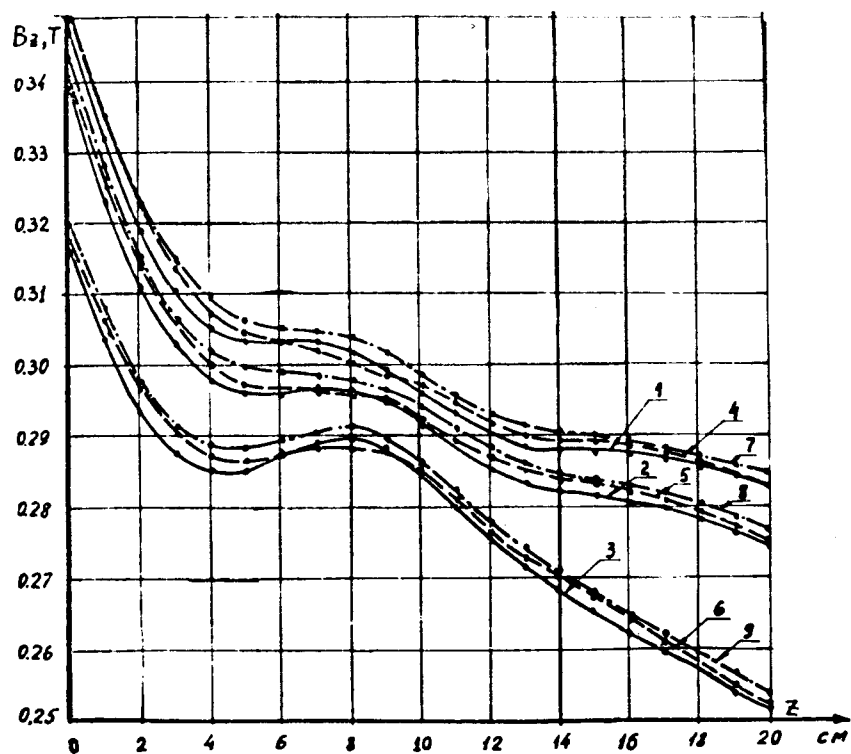


Рис. 8. Распределения $B_z(z)$ на выводном участке для трех значений азимута: 120° /А/, 210° /Б/, 300° /В/ - в моменты времени t_1 , t_2 , t_3 .

После уменьшения амплитуды гармоники в результате поворота одной из катушек III ступени относительно оси на 180° величина дрейфа была уменьшена до $\sim 1,5 \text{ мм}^{10/}$.

4. Влияние элементов конструкции ускорителя

Зависимости магнитного поля от времени снимались на оси ускорителя: поле III ступени - в точке $z=0$, соленоида - в точках $z=30$ и 60 см. Измерения проводились при раздельном включении III ступени и соленоида. На оси камеры помещались поочередно следующие элементы:

а/ трубы из нержавеющей стали X18H9T /толщина стенки ~ 1 мм/, сплошная и комбинированная, с шестью продольными разрезами от $z=-25$ см до $z=35$ см;

б/ вставки типа "белчье колесо" из 35 медных струн /диаметр струны - 1 мм/ и шести медных полос /толщина - 1 мм, ширина - 30 мм/ с наружным диаметром 72 мм.

Наиболее заметные отличия амплитуды и фазы магнитного поля наблюдались в случае неразрезанной трубы из нержавеющей стали /рис. 9/. Однако величины этих отклонений / $\sim 1\%$ /, если учесть их вклад в суммарное магнитное поле, не могут оказать существенного влияния на параметры электронного кольца.

Измерение влияния медной трубы /наружный диаметр - 32 мм, толщина стенки - 2 мм/ на магнитное поле на радиусе 4,5 см также показало его незначительность /рис. 10, штриховые кривые - магнитное поле в присутствии трубы/.

Измерения распределения магнитного поля вдоль всего тракта ускорения показало, что применение комбинированной трубы нежелательно из-за заметного уменьшения градиентов вблизи стыка. Как следует из кривой 1 рис. 3, градиенты в интервале $z \approx 40 \div 60$ см составляют приблизительно $(2 \div 3) \cdot 10^{-3} \text{ см}^{-1}$, что вдвое меньше расчетных значений.

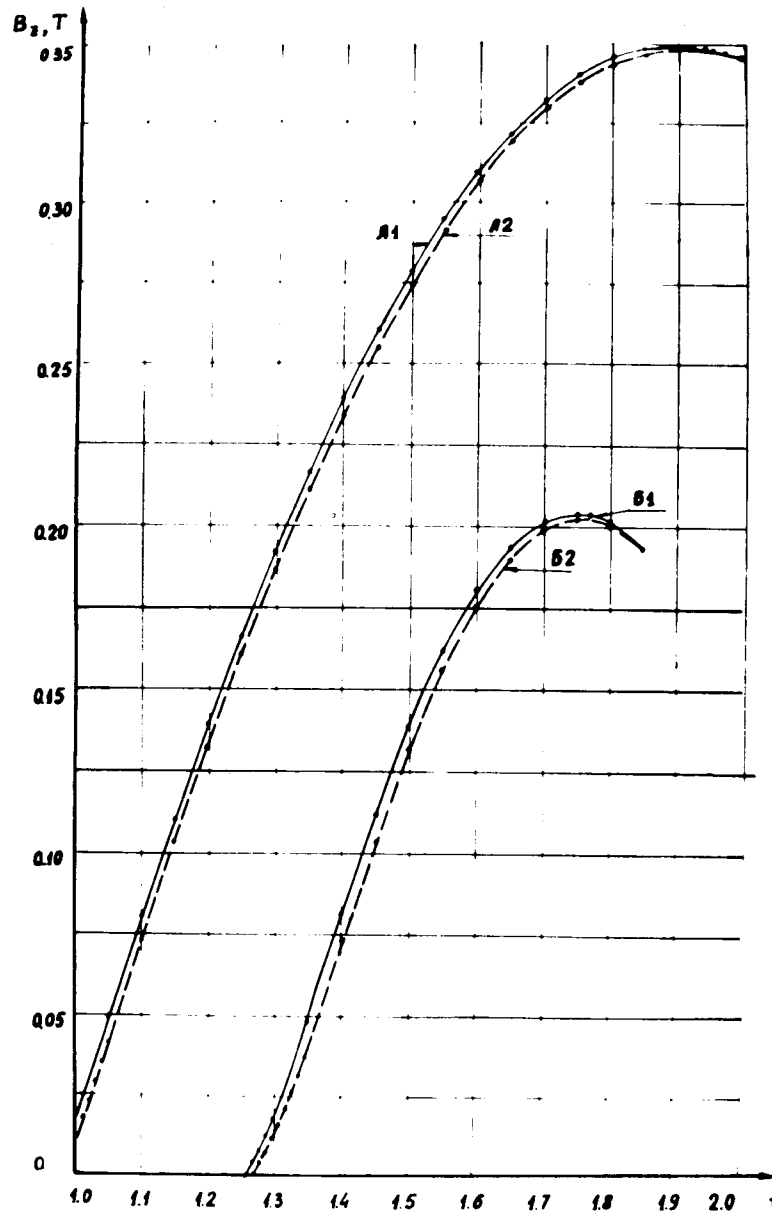


Рис. 9. Зависимости $B_z(t)$ III ступени в точке $r=0$, $z=0$ /А/ и соленоида в точке $r=0$, $z=60$ см /Б/; кривые 1 - внутри сплошной трубы из нержавеющей стали, кривые 2 - без трубы.

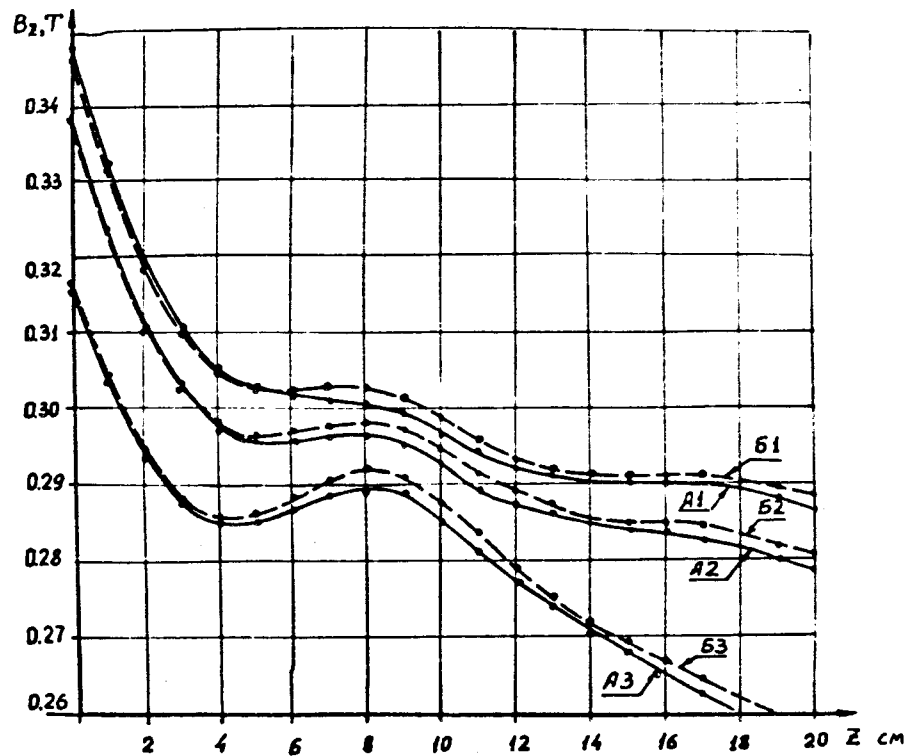


Рис. 10. Распределение $B_z(z)$ на выводном участке на радиусе 4,5 см при наличии медной трубы с наружным диаметром 3,2 см и толщиной стенки 0,2 см /штриховые кривые/ и без трубы /сплошные кривые/ для трех моментов времени t_1 , t_2 , t_3 .

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате магнитных измерений установлено следующее.

Градиенты магнитного поля $\partial B_z / B_z \partial z$ на участке ускорения соответствуют расчетным и составляют в среднем $\sim 4,5 \cdot 10^{-3} \text{ см}^{-1}$.

Варьируя моменты времени шунтировок t_{III} в пределах $t_3 + (280 \div 340)$ мкс и напряжения на соленоиде U_C в пределах $(12,5 \div 13,5)$ кВ в выбранном режиме, можно удовлетворить требуемым условиям вывода.

Для компенсации искажений, вносимых в магнитное поле обмоткой выводного соленоида, в диапазоне радиусов $25 \div 36$ см можно использовать пассивный корректирующий соленоид.

Влиянием фокусирующих элементов и указанных выше элементов конструкции на магнитное поле /и параметры электронного кольца/ в конце сжатия можно пренебречь.

Авторы считают приятным долгом поблагодарить Н.В.Клокова за конструкторскую проработку механического привода пробника магнитометра, а также Л.В.Комогорову и Д.А.Смолина за предоставление блоков реверсивных счетчиков.

ЛИТЕРАТУРА

1. Барабаш Л.С. и др. ОИЯИ, Р9-7697, Дубна, 1974.
2. Александров В.С. и др. ОИЯИ, Р9-10118, Дубна, 1976.
3. Лачинов В.М., Маковеев В.К. ОИЯИ, Р9-8118, Дубна, 1974.
4. Лачинов В.М., Маковеев В.К. ОИЯИ, Р9-9899, Дубна, 1976.
5. Александров В.С. и др. ОИЯИ, Р9-9215, Дубна, 1975.
6. Саранцев В.П. и др. ОИЯИ, Р9-10053, Р9-10054, Дубна, 1976.
7. Долбилов Г.В. и др. ОИЯИ, Р9-11191, Дубна, 1977.
8. Keefe D. Status Rep. In: VIII ICNEA, Geneva, 1971.
9. Avery R.T., Laslett L.J. UCRL-20684, Berkeley, 1971.
10. Саранцев В.П. и др. ОИЯИ, Р9-10917, Дубна, 1977.
11. Александров В.С. и др. ЖТФ, 1977, 43, №9, с.1822.
12. Алексахин Ю.И., Перельштейн Э.А. ОИЯИ, Р9-10905, Дубна, 1977.
13. Symon R.K. On the Tolerances Necessary to Cross the $Q_R = 1$ Resonance. In: Symposium on ERA, Berkeley, 1968, p.304.

Рукопись поступила в издательский отдел
13 июня 1978 года.