

СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА



С 345 л 1

A-465

12/2-74

P9 - 7778

1795 / 2-74

В.С. Александров, Л.С. Барабаш, С.М. Бийский,  
А.М. Дивеев, Ю.А. Каржавин, В.М. Лачинов,  
В.Н. Лысяков, В.К. Маковеев, В.П. Саранцев,  
В.А. Тимохин

ИЗМЕРЕНИЕ  
ИСКАЖЕНИЙ ИМПУЛЬСНЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ  
И ПОТЕРЬ ЭНЕРГИИ  
В КАМЕРЕ АДГЕЗАТОРА

**1974**

**ОТДЕЛ НОВЫХ МЕТОДОВ УСКОРЕНИЯ**

P9 - 7778

В.С. Александров, Л.С. Барабаш, С.М. Бийский,  
А.М. Дивеев, Ю.А. Каржавин, В.М. Лачинов,  
В.Н. Лысяков, В.К. Маковеев, В.П. Саранцев,  
В.А. Тимохин

ИЗМЕРЕНИЕ  
ИСКАЖЕНИЙ ИМПУЛЬСНЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ  
И ПОТЕРЬ ЭНЕРГИИ  
В КАМЕРЕ АДГЕЗАТОРА

Объединенный институт  
ядерных исследований  
БИБЛИОТЕКА

## 1. ВВЕДЕНИЕ

В настоящей работе приведены результаты магнитных и температурных измерений, проведенных в адгезаторах двух типов со сферическими стенками<sup>1</sup>. Стенки выполнены из нержавеющей стали толщиной 0,5 мм. Обечайка одного из адгезаторов сделана из нержавеющей стали толщиной 2 мм и имеет два диска жесткости /шпангоуты/. Обечайка второго адгезатора изготовлена, так же как и стенки, из стали толщиной 0,5 мм.

Блок-схема установки приведена на рис. 1. Для получения магнитного поля использовались пары импульсных катушек, имитировавшие I, II и III ступени сжатия, на которые разряжалась емкость С. Параметры ступеней сжатия, используемых в установке, приведены в таблице.

В случае, когда в качестве нагрузки применялись пары катушек с индуктивностями 3,4 мГ и 2,8 мГ, емкость конденсатора была равна 94 мкФ. При работе на пару катушек с индуктивностью 150 мкГ использовалась емкость, равная 140 мкФ.

В качестве коммутатора служил игнитрон с последовательно включенным диодным столбом и тиристорный столб. Цепь обратной перезарядки емкости С и зарядные цепи на рисунке не показаны.

## 2. ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ АППАРАТУРА

Измерения импульсных магнитных полей проводились с помощью холловского импульсного магнитометра МИХ-1, разработанного в ОНМУ. Блок-схема магнитометра представлена на рис. 2, а временные диаграммы, поясняющие работу МИХ-1, - на рис. 3.

Таблица

	I ступень сжатия		II ступень сжатия		III ступень сжатия	
	$T_u = 1,8$ мсек	$T_u = 0,5$ мсек	$T_u = 1,8$ мсек	$T_u = 1,8$ мсек	$T_u = 1,8$ мсек	$T_u = 1,8$ мсек
Суммарная индуктивность	3,4 мГ	150 мкГ	3,4 мГ		2,8 мкГ	
Расстояние от медианной плоскости адгезатора	33 см	33 см	24 см		14 см	
Радиус катушек	44 см	44 см	27 см		14 см	
Количество витков одной катушки ступени	32	6	45		63	

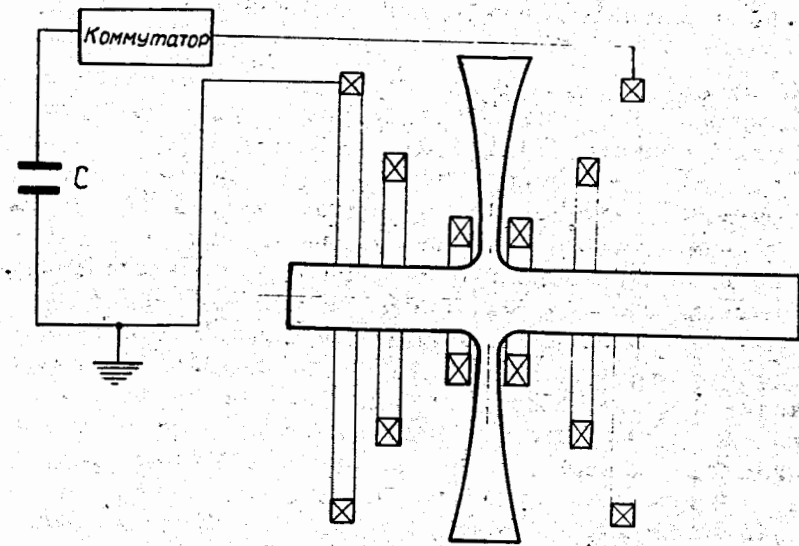


Рис. 1. Блок-схема установки.

Магнитометр имеет две основные части. Входная измерительная часть состоит из блоков усилителей, блока модулятора, стабилизатора тока питания датчиков Холла /ДХ/ и источников питания для этих блоков. Блоки устанавливаются в стандартной корзине "Вишня" и располагаются вблизи измеряемого магнитного поля. Эта часть МИХ-1 соединяется кабелями длиной 4 м с двумя измерительными штангами. В конце каждой штанги длиной 1,5 м и сечением 14 x 15 мм расположены датчики Холла, плоскость которых устанавливается перпендикулярно оси штанги или вдоль нее.

Регистрационно-управляющая часть прибора соединена с входной измерительной частью 50-метровым кабелем и при необходимости выносится в другое место. В эту часть МИХ-1 входит блок формирования и хронирования импульсов, блок временной задержки, блок аналого-цифрового преобразователя /АЦП/, которые расположены в корзине "Вишня", а также отдельный блок питания для этой корзины. Кроме того, в процессе

настройки магнитометра используется цифровой вольтметр /ЦВ/ TR-1652 и 2-лучевой осциллограф С1-55.

В качестве магнито-чувствительных элементов использовались ДХ типа Х-511, имеющие размеры чувствительной области  $1 \times 1 \times 0,2$  мм, ТКН  $\approx 0,03\%/^{\circ}\text{C}$ , номинальный ток питания  $\approx 100$  мА и чувствительность  $\approx 10$  мкВ/Гс. Относительно низкая чувствительность ДХ, влияние изменений температуры, а также индуктивные наводки во входных цепях прибора, сопутствующие измерениям импульсных полей, затрудняют проведение высокоточных измерений. Кроме того, сказывается влияние временных параметров: точность синхронизации или привязка к исследуемому импульсному полю, мгновенность измерения и т.д. В магнитометре использованы специальные меры для повышения точности прибора. Проведена укладка подводящих электродов ДХ для минимизации контура в области датчика, бифилярно перекручены холловские и токовые провода, использована нечувствительная к синфазной наводке схема усилителя холловского напряжения, экранированы входные измерительные цепи.

Одной из эффективных мер снижения влияния наводок является повышение чувствительности ДХ. Из основного соотношения для ДХ;

$$U_x = K_x I B,$$

где  $U_x$  - напряжение Холла,  $K_x$  - постоянная Холла,  $I$  - ток питания ДХ,  $B$  - внешнее магнитное поле, видно, что чувствительность пропорциональна току  $I$ . Максимальная величина  $I$  определяется допустимым разогревом ДХ. Импульсный характер измерения при небольшой частоте повторения и стремление к мгновенности измерения, все это способствует применению импульсного питания ДХ повышенным током<sup>3/</sup>. При длительности импульса  $\tau$  и частоте повторения  $\nu$  допустимо увеличение тока питания при сохранении перегрева ДХ:  $I = I_0 (\tau \nu)^{1/2}$ . Высокое быстродействие ДХ позволяет применять длительности импульсов питания  $\tau \approx 1$  мксек, что при 10-20-кратном превышении  $I_0$  разрешает иметь скорости повторения  $\nu \approx 1$  кГц.

В МИХ-1 ток питания был выбран  $\approx 1$  А, т.е. чувствительность ДХ повышена на порядок и соответственно снижено влияние наводок. Длительность импульса питания равна  $\approx 12,5$  мксек, частота измерений  $\approx 1$  Гц. Перегрев ДХ значительно меньше допустимого.

Для дополнительного повышения уровня сигнала с ДХ, что особенно важно при низких измеряемых магнитных полях, применены широкополосные интегральные операционные усилители типа 1УТ401. Имея малый приведенный входной дрейф, дифференциальный вход, стабильные малые коэффициенты усиления, полосу пропускания  $1$  МГц, они с успехом выполняют роль усилителя сигнала с ДХ, а также используются для компенсации неэквипотенциальности ДХ и подавления синфазной наводки. Усилитель обеспечивает на выходе амплитуду до  $3$  В при нагрузке на 50-омный кабель.

Измерения и регистрация импульсного напряжения на выходе усилителя производятся АЦП типа LRS модели 243, имеющим 256 каналов и индикацию в двоичном коде.

В МИХ-1 питание ДХ осуществляется от стабилизатора постоянного тока, имеющего стабильность  $\approx 0,01\%$ . Для получения импульсного тока питания ДХ последний подключается через конденсатор к выходу стабилизатора тока. Туда же подключается управляемый транзисторный ключ. В нормальном состоянии ключ открыт, и ток через ДХ не идет. Когда ключ запирается импульсом модуляции на короткое время, ток поступает в цепь питания ДХ. За время импульса конденсатор незначительно заряжается и не влияет на величину тока стабилизатора. Таким образом, стабильность амплитуды импульса тока питания ДХ определяется стабильностью постоянного тока стабилизатора, а ее можно калибровать по цифровому вольтметру /ЦВ/. Кроме того, наличие конденсатора в цепи питания ДХ предохраняет последний от выхода из строя при длительном питании повышенным током в случае неисправности ключа или устройства управления.

Процесс измерения в магнитометре начинается с поступления на вход блока формирования и хронирования внешнего синхроимпульса, который обычно служит запусковым и для включения импульса магнитного поля

/рис. 3а, б/. Возможен ручной разовый запуск или запуск от внутреннего генератора 500 Гц. Синхроимпульсы формируются и поступают в блок управляемой временной задержки. Этот блок определяет нужный момент измерения магнитного поля /рис. 3г/. Импульс с выхода задержки преобразуется одновибратором в прямоугольный импульс модуляции с длительностью  $\approx 12,5$  мксек. Затем он формируется по амплитуде, образуя два канала с выходными импульсами  $-0,8$  В и  $+4$  В /рис. 3д,е/. По 50-омному кабелю один из импульсов поступает в блок модуляции для управления током через ДХ /рис. 3 м /. Выходной импульс блока задержки, кроме того, преобразуются другим одновибратором в прямоугольный импульс с длительностью  $\approx 9$  мксек /рис. 3ж/. Задним фронтом этого импульса запускается третий одновибратор, вырабатывающий короткий, менее 1 мксек, строб-импульс /рис. 3и/. Последующий каскад имеет два выхода строб-импульса с амплитудой  $-0,8$  В на 50 омах. Строб-импульс подается на АЦП и определяет момент измерения магнитного поля. Временные соотноше-

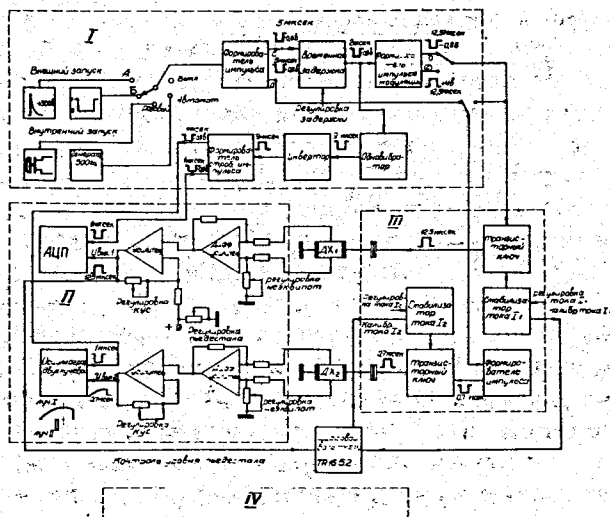


Рис. 2. Блок-схема магнитометра МИХ-1. I - блок формирования и хронирования импульсов /ФАХП/. II - блок-модулятор, стабилизатор тока. III - блок усилителей. IV - блок питания.

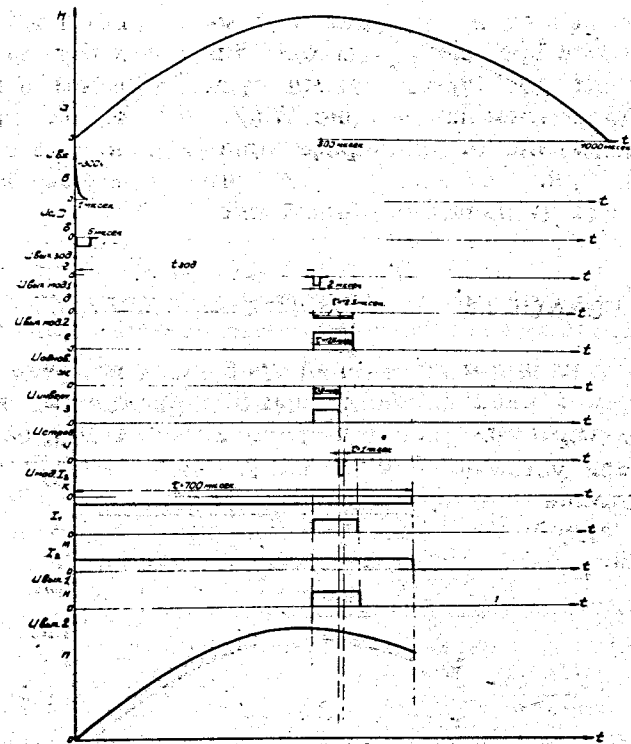


Рис. 3. Временные диаграммы.

ния импульса модуляции и строб-импульса выбраны так /рис. 3и,н/, что АЦП фиксирует амплитуду импульса, поступающего на его вход в конце импульса модуляции, когда переходные процессы во входной цепи от импульса питания заканчиваются.

Сказанное выше относится к измерительному каналу 1. Второй канал используется для наблюдения вида импульса магнитного поля по осциллографу. Транзисторный ключ канала 2 управляется импульсом модуляции длительностью  $\approx 0,7$  мсек /рис. 3к/, который формируется одновибратором в блоке модуляции. Запуск одновибратора осуществляется синхроимпульсом либо до задержки, либо после задержки. Таким образом, ток через

ДХ<sub>2</sub> протекает в течение  $\approx 0,7$  мсек /рис. 3 м/, и в течение этого времени на выходе усилителя канала 2 появляется сигнал, определяемый существующим в этот период магнитным полем /рис. 3 п/. Этот сигнал наблюдается на экране осциллографа одновременно со стробимпульсом /на разных лучах/, что позволяет наглядно определить их взаимное положение.

### 3. ТОЧНОСТЬ МАГНИТНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Перед началом измерений требуются прогрев прибора в течение 1 часа и необходимые коррекции. С помощью Ц В. проверяется величина тока питания ДХ, на выходе усилителя устанавливается напряжение смещения, соответствующее требуемому диапазону измерения магнитных полей. С помощью осциллографа компенсируется неэквипотенциальность ДХ.



Рис. 4. Калибровочные кривые.

Поскольку магнитометром можно измерять и постоянные магнитные поля, то очень удобно проводить калибровку МИХ-1 в постоянных магнитных полях, которые измеряются ЯМР-магнитометром с точностью  $10^{-4} - 10^{-5}$ . Такая калибровка проведена, а соответствующие градуировочные кривые для разных смещений приведены на рис. 4.

Как показывает рассмотрение точности работы отдельных узлов магнитометра, величину общей относительной погрешности измерения магнитных полей можно оценить как

$$\pm 0,1\% \pm 0,5 \text{ Гс} \pm 1 \text{ канал.}$$

Первые две составляющие определяются стабильностью питающего ДХ тока, дрейфом усилителей, температурными изменениями параметров ДХ. Указанные величины достигаются после предварительного прогрева прибора при колебаниях внешней температуры в пределах  $\pm 2^\circ \text{C}$ . При малых магнитных полях основную роль играет второй член общей погрешности, ограничивающий чувствительность магнитометра. Последняя составляющая является погрешностью дискретности АЦП, которая в данном приборе дает относительно большой вклад, поскольку АЦП имеет всего 256 каналов. Некоторое относительное снижение этой погрешности достигается введением отрицательного предварительного смещения на выходе усилителя.

Погрешность от наводок можно, в принципе, исключить, измерив только сигнал наводки при отключенном питании ДХ и вычитая его из показания магнитометра. Обычно наводки дают сигналы менее 1-канала на АЦП и существенно не влияют на окончательную погрешность.

Используемая в МИХ-1 аналоговая временная задержка калибровалась по осциллографу. Точность задания задержки составляет  $\approx 5\%$ , а ее длительная стабильность  $\approx 0,2\%$ . Таким образом, исследование распределений во времени магнитных полей, особенно высокочастотных, получаются относительно грубыми. При измерениях амплитуды импульсов магнитного поля в области максимума указанная нестабильность задержки мало существенна.

В общую относительную погрешность измерения маг-

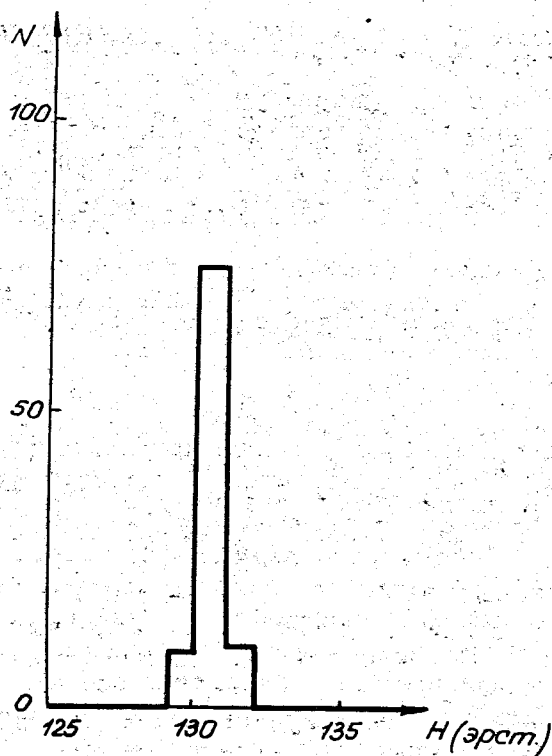


Рис. 5. Распределение значений магнитного поля при неизменном положении датчика Холла.

нитных полей входит и погрешность, зависящая от стабильности питающего импульсные катушки тока, который должен поддерживаться постоянным для данной серии измерений. В настоящей работе поддерживалось постоянным напряжение на разрядной емкости с точностью  $\approx 0,2\%$ .

Для оценки точности магнитных измерений в установке была проведена серия экспериментов при неизменном положении датчика Холла. Результаты показаны на рис. 5. Абсолютная флюктуация распределения рис. 5 составляет  $\Delta = \pm 0,48$  Гс.

#### 4. РЕЗУЛЬТАТЫ МАГНИТНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Для оценки искажений импульсного магнитного поля, выбора оптимальной длительности импульса тока в катушках, выбора оптимальной конструкции адгезатора магнитные измерения проведены на двух моделях адгезатора при длительности импульса тока 0,5 и 1,8 мсек.

##### 4.1. Измерения магнитного поля в камере адгезатора при длительности импульса тока 0,5 мсек

Серия магнитных измерений при длительности импульса тока 0,5 мсек проводилась на адгезаторе с тонкой обечайкой с парой импульсных катушек 1-й ступени. Результаты эксперимента приведены на рис. 6,7. На

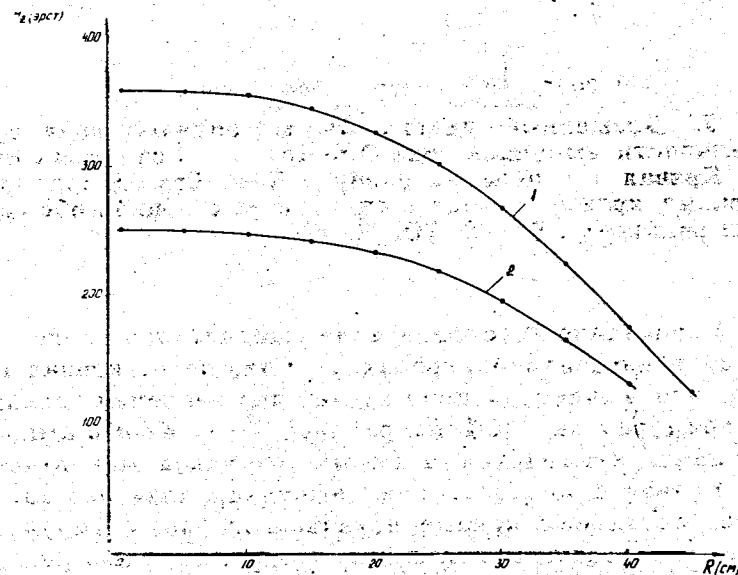


Рис. 6. Распределение магнитного поля по радиусу I ступени сжатия при длительности импульса тока 0,5 мсек. Кривая 1 - поле без адгезатора. Кривая 2 - поле в адгезаторе с тонкой обечайкой.



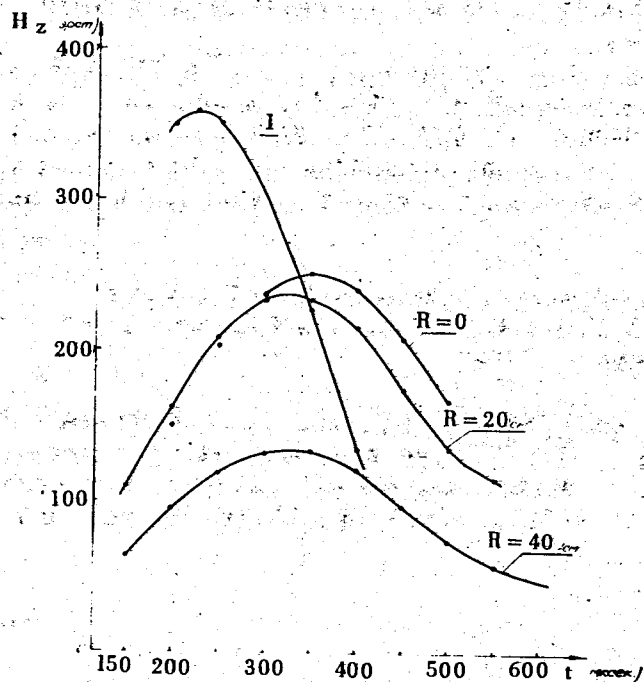


Рис. 7. Временные диаграммы магнитного поля при длительности импульса тока 0,5 мсек I степени сжатия. Кривая 1 - поле на радиусе  $R=0$  без адгезатора, остальные кривые - поле в адгезаторе с тонкой обечайкой на радиусах  $R = 0, 20, 40$  см.

рис. 6 показано распределение магнитного поля по радиусу в адгезаторе /кривая 2/ и без него /кривая 1/. Видно, что амплитуда поля падает при внесении адгезатора примерно на  $\approx 30\%$  на радиусе  $R=0$ . Кроме амплитуды поля, изменяется и форма импульса магнитного поля. Кривая 1 соответствует импульсу поля без адгезатора, остальные кривые показывают форму импульсного поля во времени при внесении адгезатора на радиусах  $R = /0, 20, 40/$  см.

Запаздывание импульса магнитного поля во времени относительно импульса тока в катушках достигает сотен микросекунд.

#### 4.2. Измерение магнитного поля в камере адгезатора при длительности импульса тока 1,8 мсек

Магнитные измерения при длительности импульса тока 1,8 мсек проводились в двух моделях адгезатора: в модели адгезатора с массивной обечайкой, имевшей два диска жесткости /шпангоуты/, изготовленные из нержавеющей стали сечением  $\approx 400$  мм<sup>2</sup> и в модели адгезатора, обечайка которого была выполнена из нержавеющей стали толщиной 0,5 мм. Стенки обеих моделей имели сферическую форму и изготавливались из нержавеющей стали толщиной 0,5 мм.

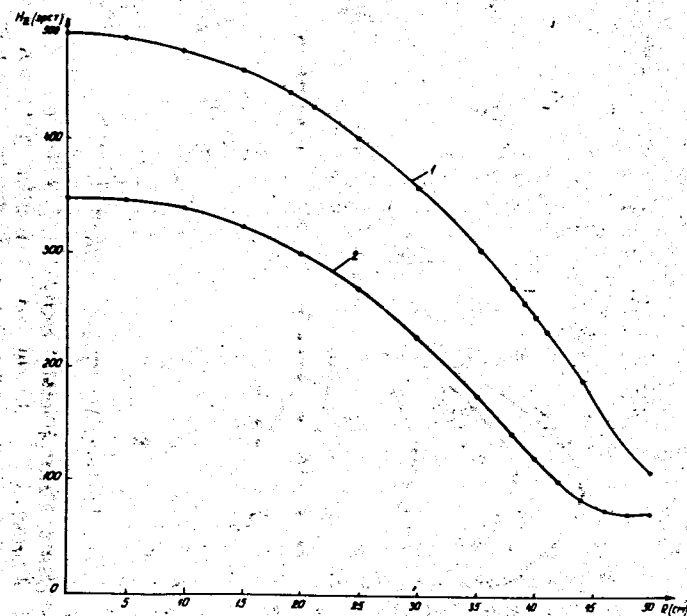


Рис. 8. Распределение магнитного поля по радиусу I степени сжатия при длительности импульса тока 1,8 мсек. Кривая 1 - поле без адгезатора. Кривая 2 - поле в адгезаторе с массивной обечайкой.

Рис. 10. Распределение магнитного поля по радиусу II ступени сжатия при длительности импульса тока 1,8 мсек. Кривая 1 - поле без адгезатора. Кривая 2 - поле в адгезаторе с массивной обечайкой.

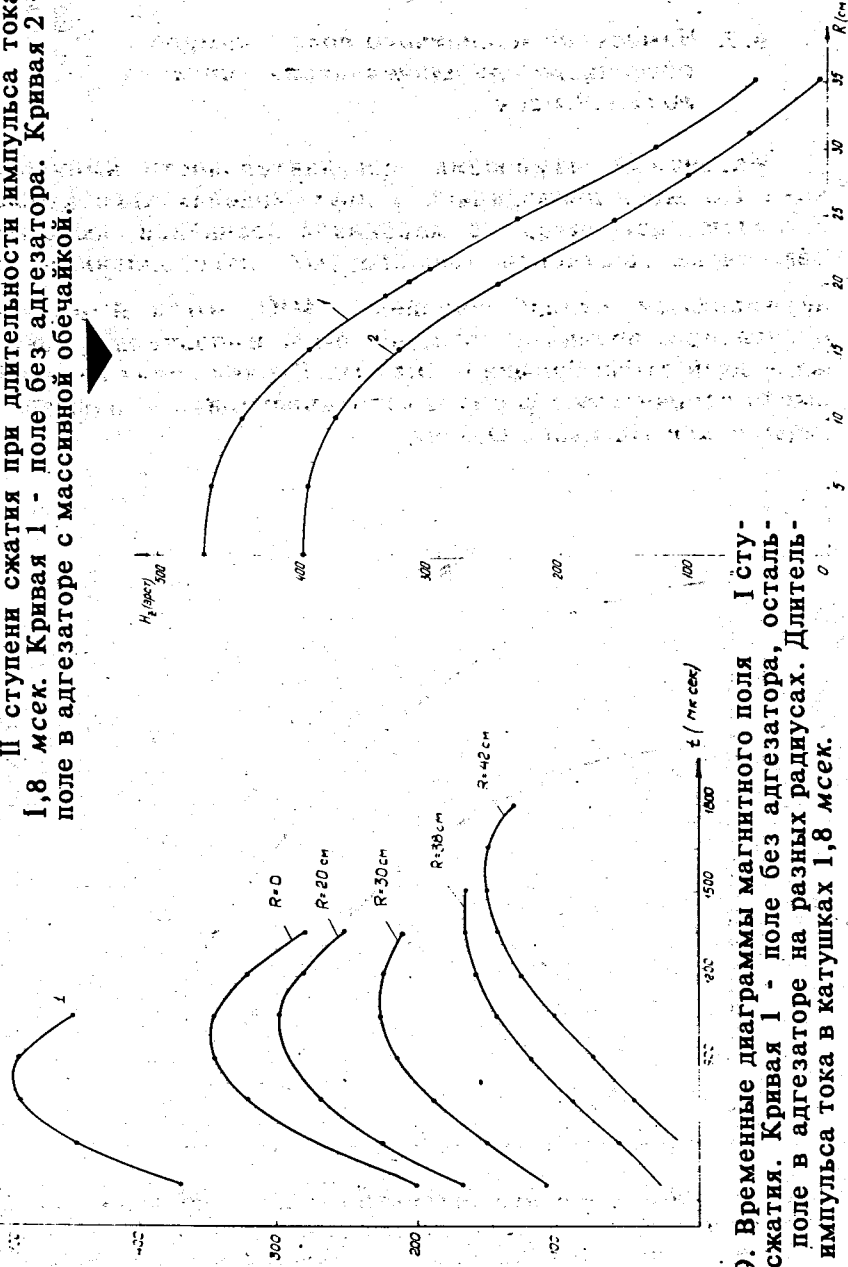


Рис. 9. Временные диаграммы магнитного поля I ступени сжатия. Кривая 1 - поле без адгезатора, остальные - поле в адгезаторе на разных радиусах. Длительность импульса тока в катушках 1,8 мсек.

Рис. 11. Временные диаграммы магнитного поля II ступени сжатия. Кривая 1 - поле без адгезатора, остальные - поле в адгезаторе с массивной обечайкой на разных радиусах. Длительность импульса тока в катушках 1,8 мсек.

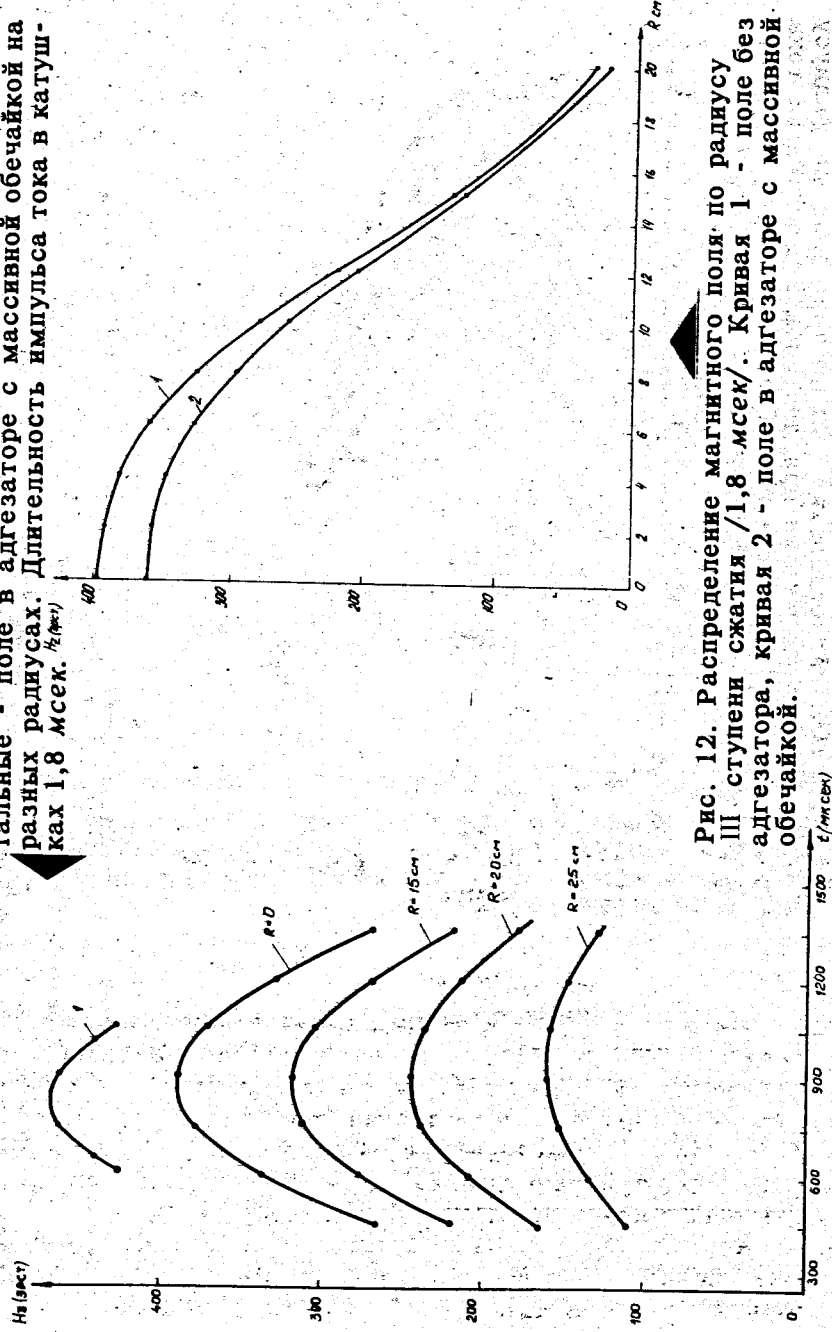


Рис. 12. Распределение магнитного поля по радиусу III ступени сжатия /1,8 мсек/. Кривая 1 - поле без адгезатора, кривая 2 - поле в адгезаторе с массивной обечайкой.

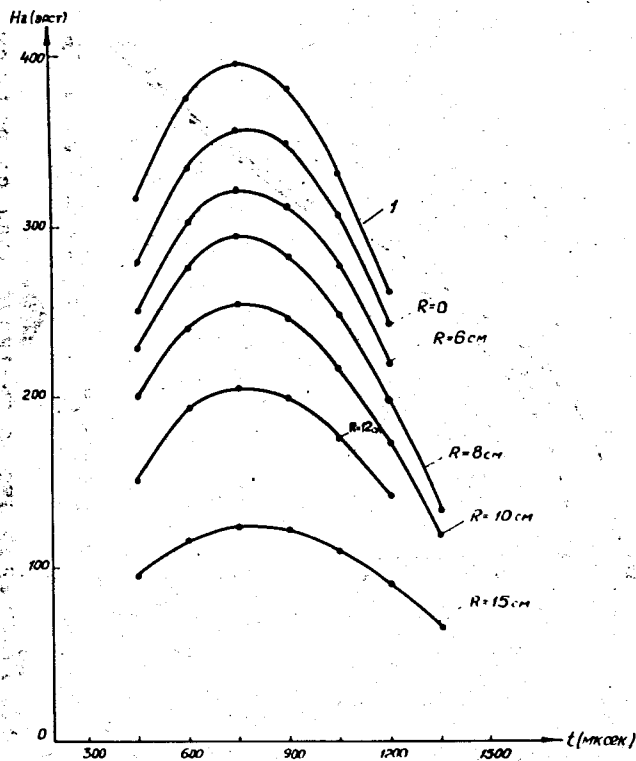


Рис. 13. Временные диаграммы магнитного поля III степени сжатия. Кривая 1 - поле без адгезатора, остальные кривые - поле в адгезаторе с массивной обечайкой на разных радиусах.

На рис. 8-13 приведены результаты измерений магнитного поля в адгезаторе с массивной обечайкой при включении трех пар катушек, имитировавших три степени сжатия. Следует отметить существенные потери в амплитуде поля и заметные фазовые искажения при работе с первой степенью сжатия. Эти искажения обусловлены внесением шангоутов и массивной обечайки.

На рис. 14-19 представлены результаты измерения импульсного магнитного поля в адгезаторе с тонкой обечайкой при включении трех ступеней сжатия.

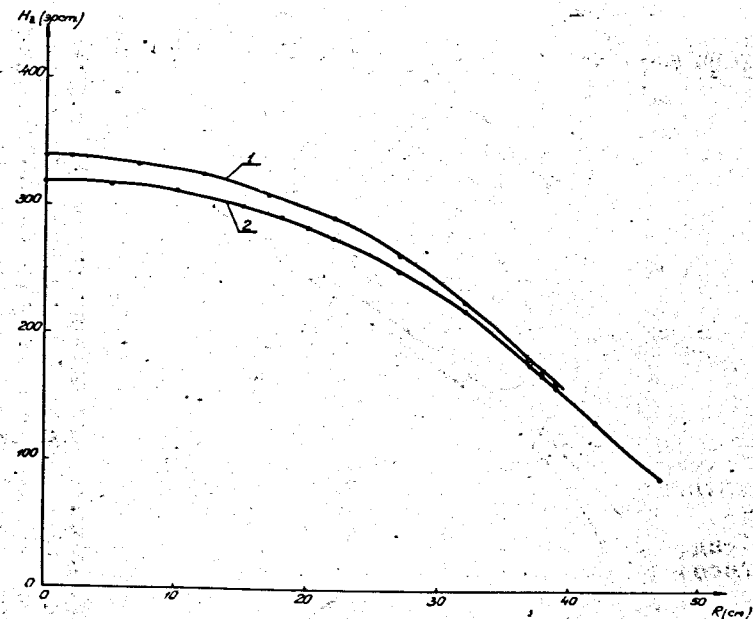


Рис. 14. Распределение магнитного поля по радиусу I степени сжатия. Кривая 1 - поле без адгезатора, кривая 2 - поле в адгезаторе с тонкой обечайкой.

При сравнении результатов измерений импульсных магнитных полей в разных моделях адгезатора можно сделать следующие выводы:

1. Существенное влияние на амплитуду и фазу импульса магнитного поля оказывает толщина обечайки, боковых стенок и патрубков адгезатора, поскольку от площади поперечного сечения этих элементов зависит амплитуда и фаза токов, наводимых в стенках камеры.

2. Амплитудные и фазовые искажения импульса магнитного поля можно уменьшить, увеличивая длительность импульса тока, что приводит к сужению спектра импульса и соответственно уменьшению влияния искажений высокочастотных составляющих спектра импульса тока.

Импульс тока в катушках, а следовательно, и импульс поля имеет форму косинусоидального импульса, спектр которого описывается следующей формулой <sup>1/2</sup>.

Рис. 15. Временные диаграммы магнитного поля  
I ступени сжатия. Кривая 1 - поле без адгезатора,  
остальные кривые - поле в адгезаторе с тонкой обечайкой на разных радиусах.

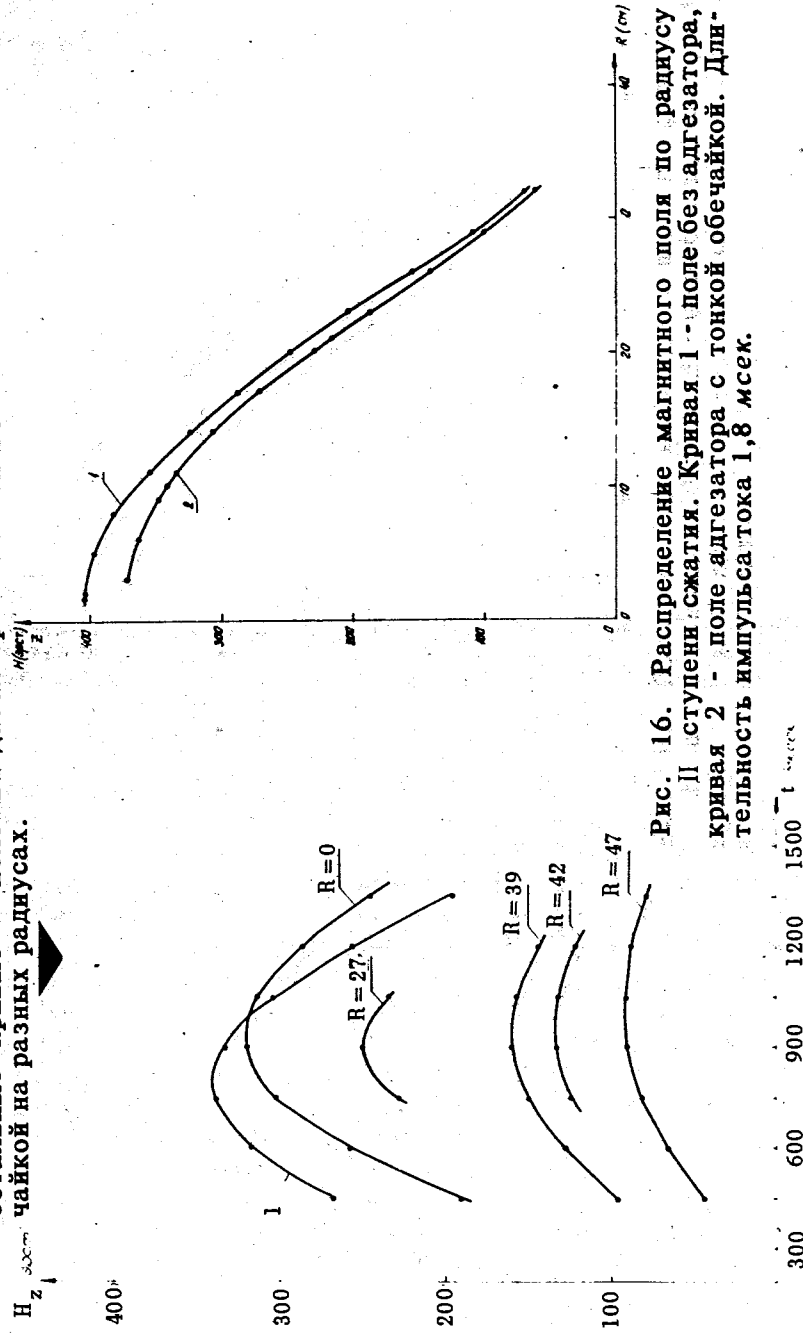


Рис. 16. Распределение магнитного поля по радиусу  
II ступени сжатия. Кривая 1 - поле без адгезатора,  
кривая 2 - поле адгезатора с тонкой обечайкой. Дли-  
тельность импульса тока 1,8 мсек.

Рис. 17. Временные диаграммы магнитного поля  
III ступени сжатия. Кривая 1 - поле без адгезатора,  
остальные кривые - поле в адгезаторе на разных ра-  
диусах.

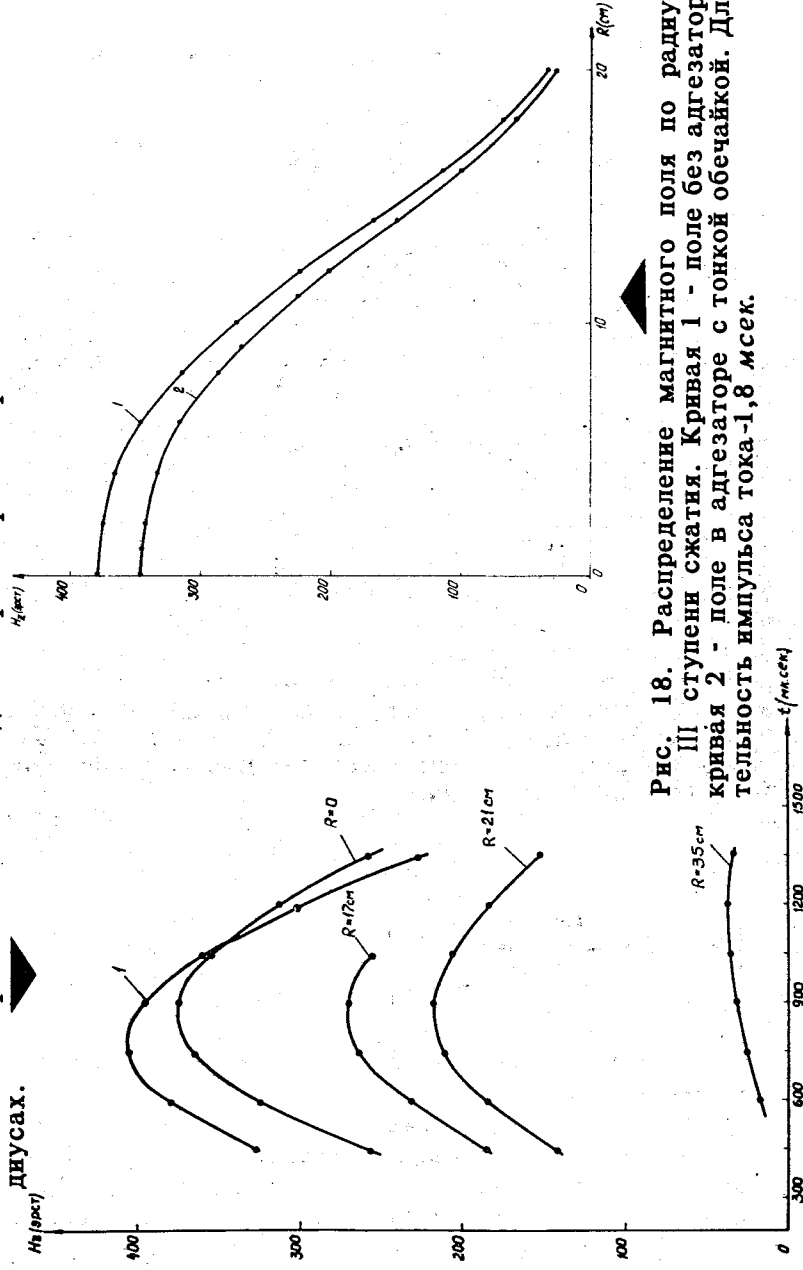


Рис. 18. Распределение магнитного поля по радиусу  
III ступени сжатия. Кривая 1 - поле без адгезатора,  
кривая 2 - поле в адгезаторе с тонкой обечайкой. Дли-  
тельность импульса тока 1,8 мсек.

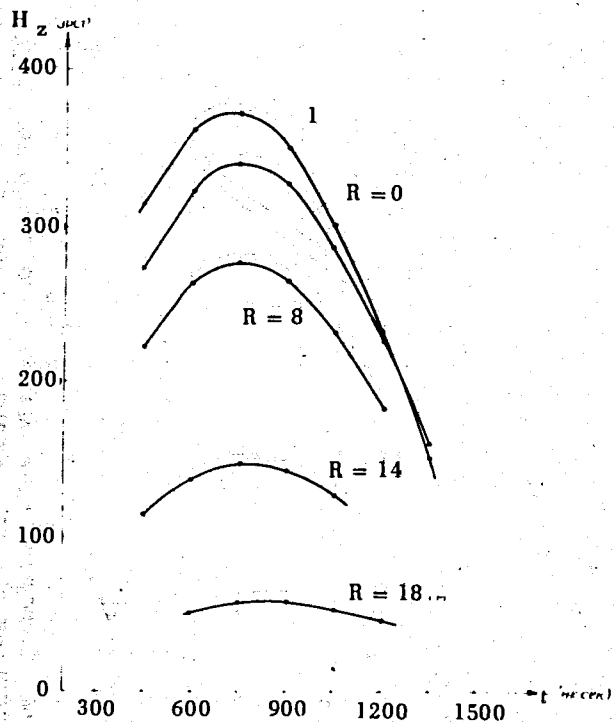


Рис. 19. Временные диаграммы магнитного поля III степени сжатия. Кривая 1 - поле без адгезатора, остальные кривые - поле в адгезаторе с тонкой обечайкой на различных радиусах.

$$S = g \frac{\cos \omega \frac{\tau}{2}}{1 - \left(\frac{2}{\pi} \omega \frac{\tau}{2}\right)^2},$$

где  $\tau$  - длительность импульса,  $g = \frac{2}{\pi} U\tau$ ,  $U$  - амплитуда импульса.

В диапазоне исследуемых частот эквивалентную схему камеры можно представить как последовательно включенные индуктивность  $L_k$  и сопротивление  $R_k$ . Амплитуда токов, наводимых в стенках камеры, зависит от геометрии размещения импульсных катушек и камеры.

Фаза наводимых токов зависит от отношения индуктивного  $\omega L_k$  и активного  $R_k$  сопротивлений камеры. Поэтому импульс поля, имеющий большую длительность и более узкий спектр, искажается меньше, нежели импульс с более широким спектром.

## 5. ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Измерения потерь энергии в стенках камеры за счет нагрева их током Фуко производились с помощью термодатчиков. Определялась скорость нагрева камеры в различных точках при включении I, II и III степени сжатия. Затем по измеренной скорости нагрева отдельных участков камеры вычислялась мощность потерь в стенках и обечайке моделей адгезатора.

На рис. 20-22 показаны распределения мощности потерь в камере с массивной обечайкой. Величина потерь дана в процентах от полной мощности импульса тока в катушках. Гистограммы рис. 20, 21, 22 дают представление о распределении относительной мощности потерь в зависимости от радиуса, на котором производились измерения. Выше  $R = 50$  см отложены относительные потери в обечайке и шпангоутах камеры.

На рис. 23, 24 и 25 приведены распределения абсолютных потерь мощности в адгезаторе с тонкой обечайкой при включении трех ступеней сжатия. Значения гистограмм выше  $R = 50$  см соответствуют потерям в обечайке камеры.

Мощность потерь на гистограммах рис. 23, 24, 25 приведена в ваттах, полная мощности импульса составляла  $\approx 50$  кВт.

Из приведенных выше результатов температурных измерений можно сделать следующие выводы:

1. Для уменьшения потерь в стенках необходимо при конструировании адгезатора стремиться к уменьшению сечения конструктивных элементов камеры, насколько позволяет механическая прочность.

2. Камеру адгезатора, выполненную из нержавеющей стали толщиной 0,5 мм, можно использовать при частоте

Рис. 20. Распределение относительных потерь в адгезаторе с массивной обечайкой по радиусу I степени сжатия /  $T_u = 1,8$  мсек/.

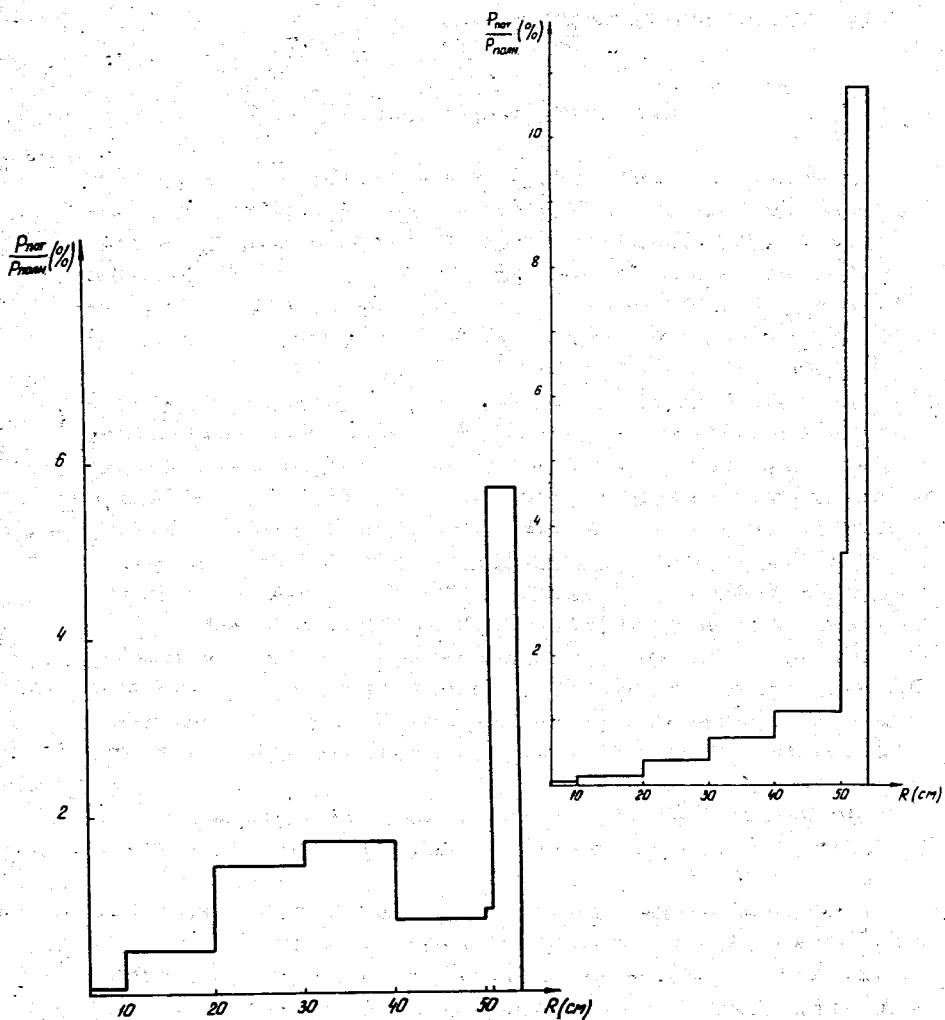


Рис. 21. Распределение относительных потерь в адгезаторе с массивной обечайкой по радиусу II степени сжатия /  $T_u = 1,8$  мсек/.

Рис. 22. Распределение относительных потерь в адгезаторе с массивной обечайкой по радиусу III степени сжатия /  $T_u = 1,8$  мсек/.

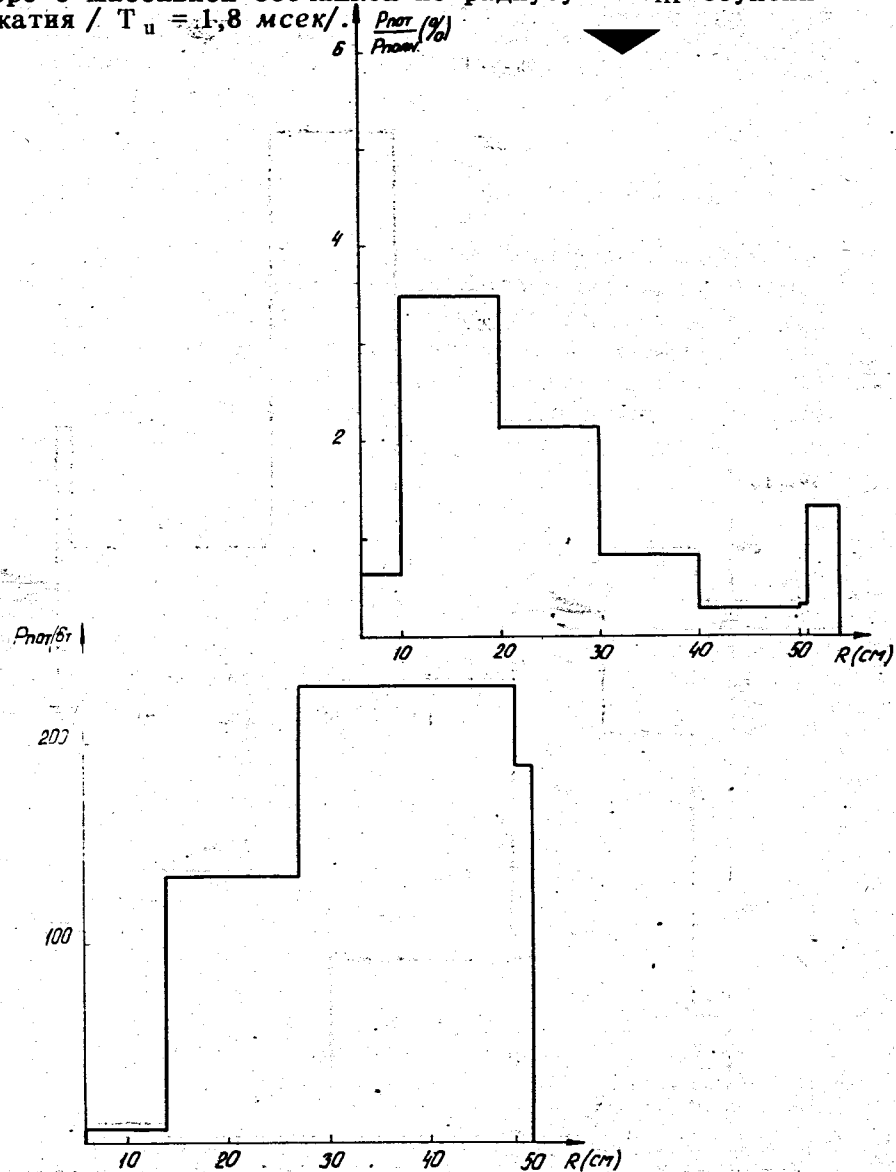


Рис. 23. Распределение потерь мощности в адгезаторе с тонкой обечайкой I степени сжатия /  $T_u = 1,8$  мсек/.

Рис. 24. Распределение потерь мощности в адгезаторе с тонкой обечайкой II ступени сжатия /  $T_u = 1,8$  мсек/.

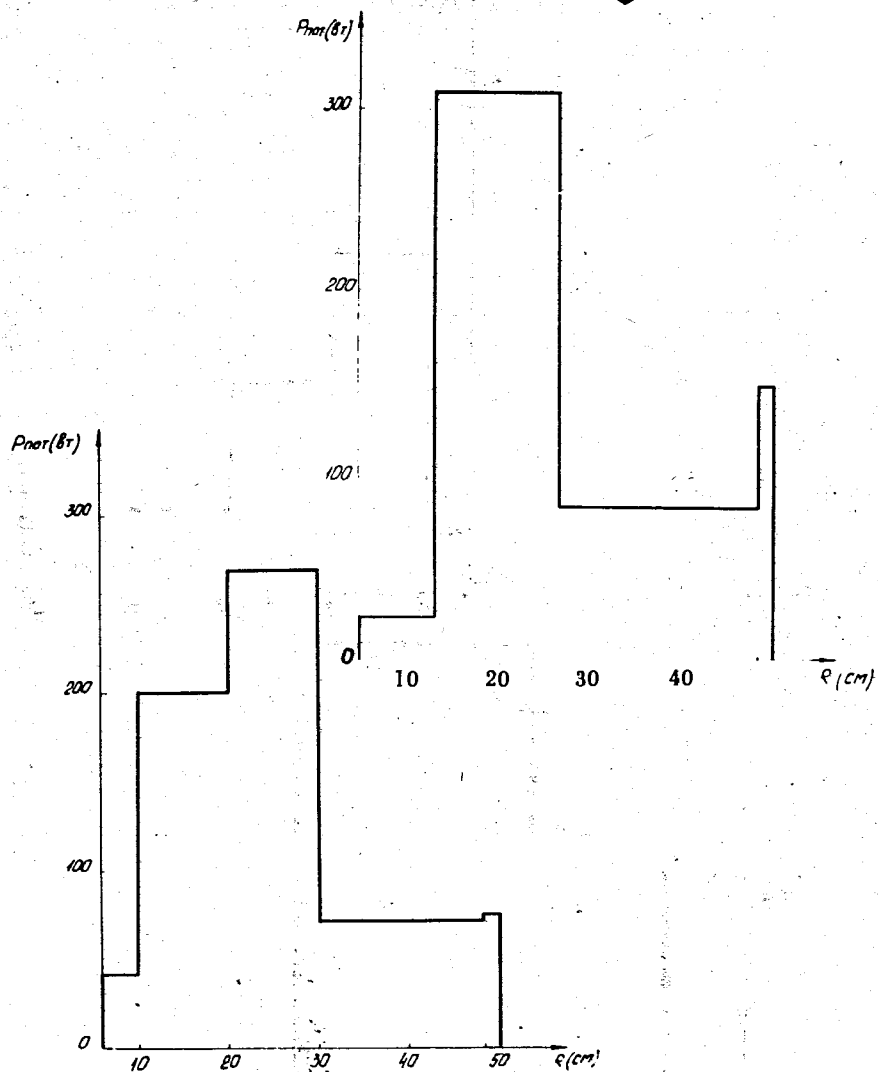
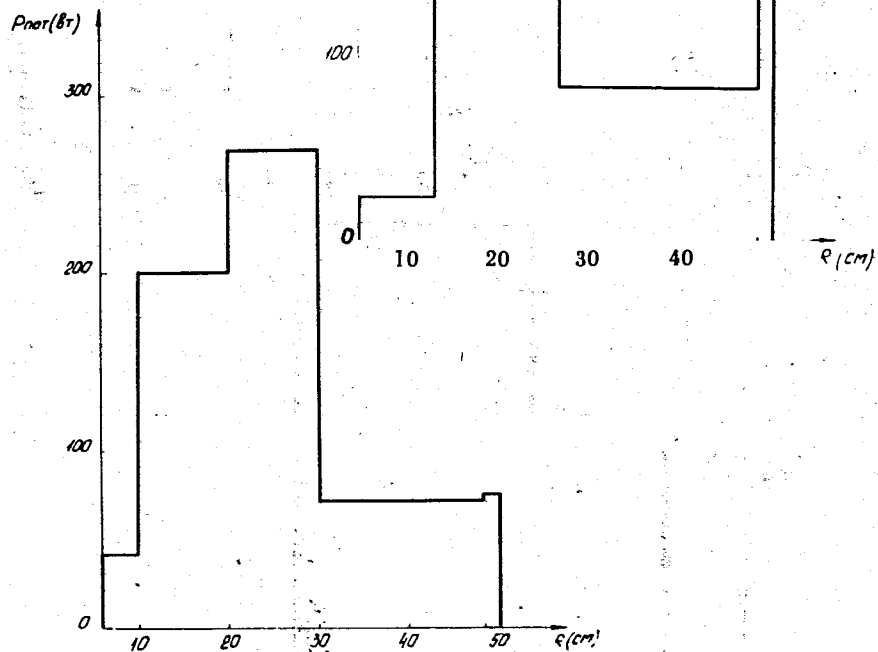


Рис. 25. Распределение потерь мощности в адгезаторе с тонкой обечайкой III ступени сжатия /  $T_u = 1,8$  мсек/.



тах повторения импульсов тока до 5 Гц. При частотах порядка 5 Гц необходимо предусматривать систему отвода тепла от стенок и обечайки адгезатора.

## 6. ВЛИЯНИЕ МЕТАЛЛА КАТУШЕК НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ПО РАДИУСУ

Как было установлено выше, внесение камеры адгезатора существенно меняет картину магнитного поля. В связи с этим были проведены исследования влияния на геометрию магнитного поля I ступени сжатия металла катушек II и III ступеней. Результаты измерений приведены на рис. 26. Кривая 1 показывает изменение распределения по радиусу импульсного магнитного поля

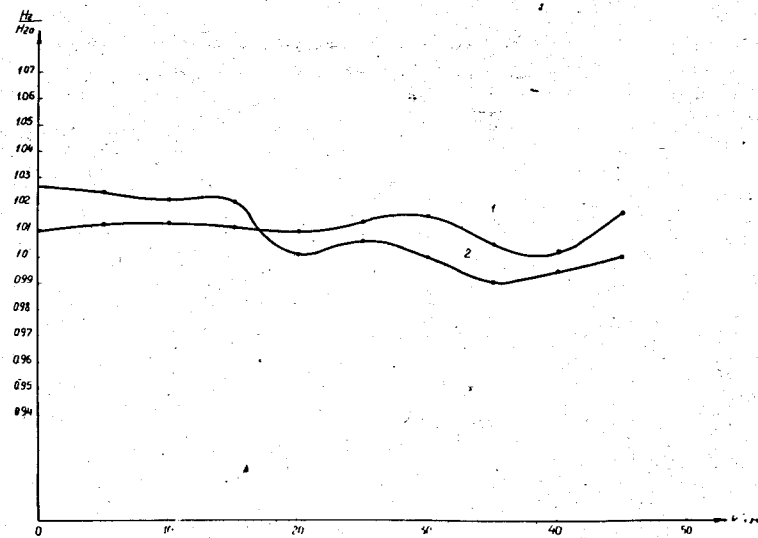


Рис. 26. Влияние металла II и III ступени сжатия на распределение магнитного поля I ступени. Кривая 1 - внесены разомкнутые импульсные катушки II ступени, кривая 2 - внесены разомкнутые импульсные катушки II и III ступени сжатия.

I степени сжатия при внесении разомкнутых катушек II степени сжатия, кривая 2 - при внесении разомкнутых катушек II и III ступеней. Как видно из рисунка, наибольшие неоднородности появляются на радиусах, соответствующих радиусам I и II степени сжатия, и максимальные искажения составляют  $\approx 3\%$  от первоначального значения поля.

### *Литература*

1. *Международный симпозиум по коллективным методам ускорения. Дубна, 1972. ОИЯИ, Д9-6707, 1972.*
2. *А.А.Харкевич. Спектры и анализ. ГИТТЛ, Москва, 1957.*
3. *L.Donald. Shirer Pubsing Hall Probes for Greater Output. R.S.I., 31, 9, 1000 (1960).*

*Рукопись поступила в издательский отдел  
15 февраля 1974 года.*