

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



Г-121

P9 - 9141

23/11-75

И.Габанец, Х.Гурач

4991/2-75

ДАТЧИК ИЗ ДВУХ КАТУШЕК ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ
ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОННОГО КОЛЬЦА
В АДГЕЗАТОРЕ В ПРОЦЕССЕ СЖАТИЯ

1975

Р9 - 9141

И.Габанец, Х.Гурач

ДАТЧИК ИЗ ДВУХ КАТУШЕК ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ
ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОННОГО КОЛЬЦА
В АДГЕЗАТОРЕ В ПРОЦЕССЕ СЖАТИЯ

Направлено в ПТЭ

1. Принцип работы датчика

Магнитное поле, вызываемое движущимся пучком и дающее информацию о его параметрах, можно измерять при помощи катушек. Преимущество такого метода по сравнению с измерением поля при помощи цилиндра Фарадея состоит в том, что определение параметров пучка происходит без его разрушения и ошибка из-за вторичной эмиссии электронов отсутствует.

Так как пучок инжектируется и сжимается в адгезаторе ^{/1/} изменяющимися во времени магнитными полями, необходимо исключить или компенсировать действие этих полей на датчик. Использование двух катушек, которые расположены вблизи пучка и имеют наклон к меднанной плоскости, позволяет провести компенсацию внешнего магнитного поля. Действие магнитных полей на катушки показано на рис. 1. Наводимое на катушке напряжение равно:

$$U = \mu F \frac{d}{dt} (\vec{n} \vec{H}),$$

здесь F есть площадь витка, \vec{n} - единичный вектор нормали к плоскости катушки, \vec{H} - напряженность магнитного поля.

После интегрирования получим:

$$\int U dt \approx \vec{n} \vec{H}.$$

Для первой катушки имеем:

$$\vec{n}_1 \vec{H}_K < 0, \quad \vec{n}_1 \vec{H}_\Pi < 0,$$

для второй:

$$\vec{n}_2 \vec{H}_K < 0, \quad \vec{n}_2 \vec{H}_\Pi > 0,$$

где \vec{H}_K - напряженность собственного магнитного поля кольца, \vec{H}_Π - напряженность внешнего поля. При суммировании всех сигналов исключается действие внешнего поля и получаемый сигнал

$$U \approx \vec{n}_1 \vec{H}_K + \vec{n}_2 \vec{H}_K.$$

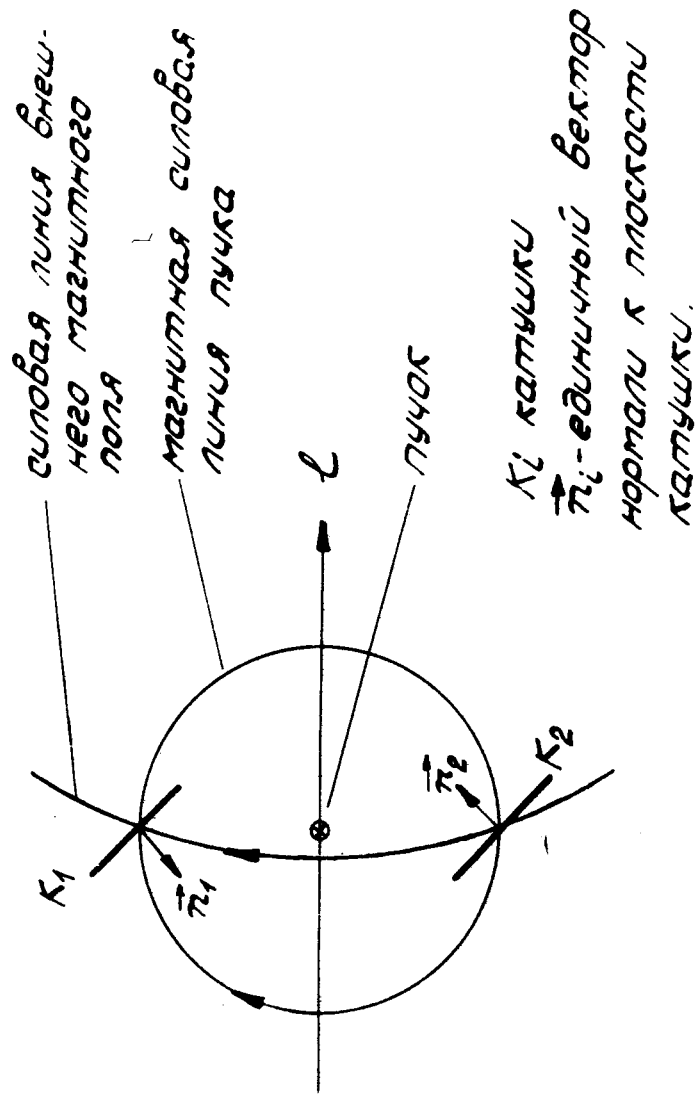


Рис. 1. Действие полей на катушки. Медианная плоскость перпендикулярна плоскости рисунка и проходит через l .

Для подавления действия внешнего поля была использована схема, показанная на рис. 2.

Эффективность катушек зависит от α -угла наклона плоскости катушек к медианной плоскости, a - расстояния от центра катушки до медианной плоскости и l - расстояния от пучка до датчика.

Для скалярного произведения $\vec{n}_i \vec{H}_i$ и прямолинейного пучка, где $i=1,2$, получаем выражение

$$\vec{n}_i \vec{H}_i = - \frac{J}{2\pi a} \frac{\sin \left[\alpha - \arctg \pm \frac{a}{l} \right]}{\sqrt{1 + \frac{l^2}{a^2}}}$$

Рассчитанные по этой формуле эффективности для двух катушек показаны на рис. 3 / $k = 0,1$ /. На этом же рисунке сравниваются кривые эффективности датчика - расчетная / сплошная кривая, $k=0,5$ / и экспериментальная, полученная для круглого провода радиуса 29 см / крестички /. Несимметричность экспериментальной кривой обусловлена кривизной круглого провода, имитирующего кольцо. Экспериментальные результаты получены при симметрично настроенном потенциометре.

Если пучок находится в центре датчика, то наводимые от него напряжения на катушках имеют одинаковую величину по знаку и амплитуде, при этом положение ручки потенциометра не влияет на результирующий сигнал с датчика, индуцированный кольцом. В этом случае подстройкой потенциометра компенсируется сигнал, наведенный внешним полем. Таким образом можно измерить интенсивность кольца, когда оно проходит через датчик во время сжатия / рис. 4 /.

Если кольцо находится на произвольном расстоянии от датчика / рис. 3 /, напряжение U определяется следующим образом:

$$U \approx \frac{J}{2\pi a} \left[\frac{k \sin(\alpha + \beta) - (1 - k) \sin(\alpha - \beta)}{\sqrt{1 + \frac{l^2}{a^2}}} \right]$$

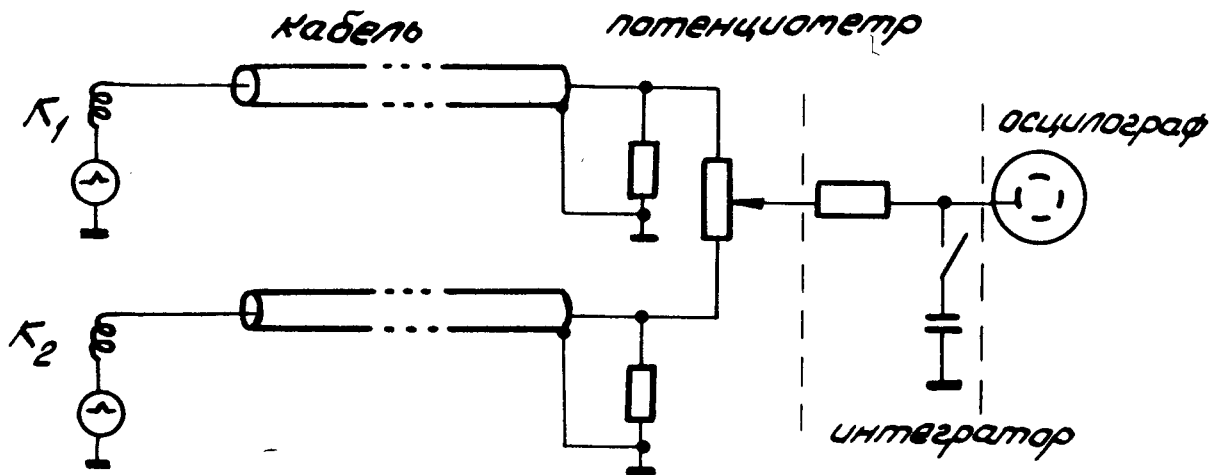


Рис. 2. Измерительная схема.

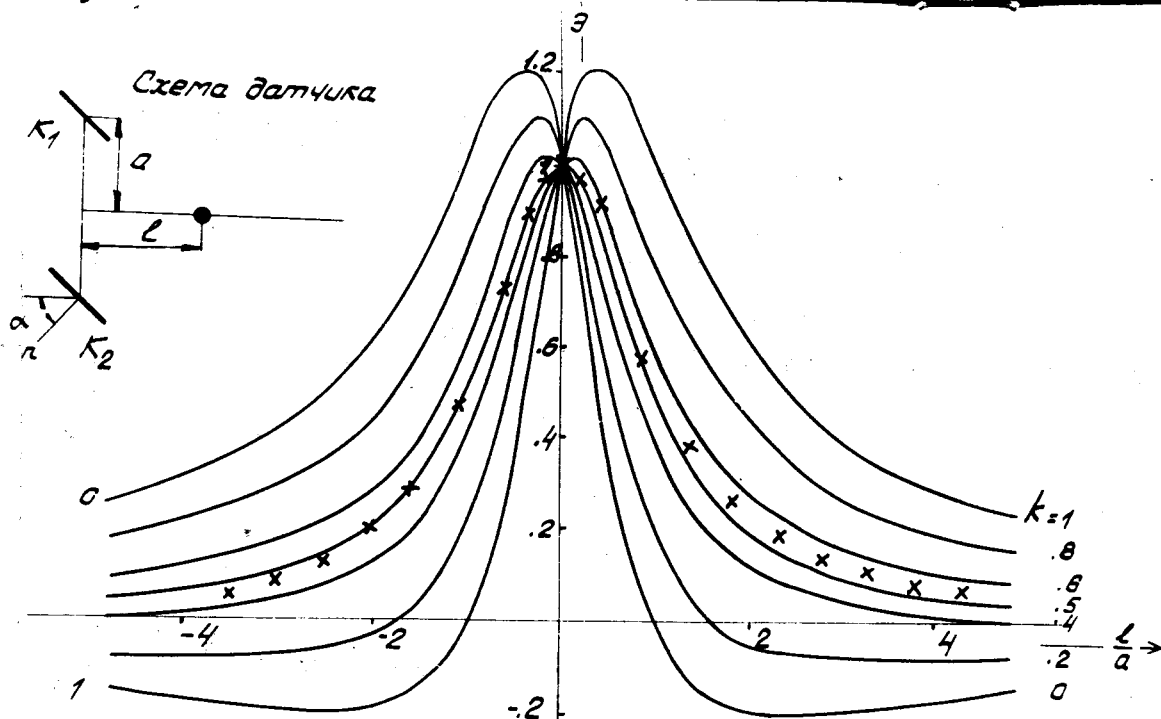


Рис. 3. Эффективность датчика с наклоном $\alpha = 45^\circ$ в приближении бесконечного провода. $k = 1$ и 0 - эффективность каждой катушки, $k = 0,5$ - эффективность датчика, когда контакт потенциометра находится в среднем положении. Пучок имеет поперечное сечение. Экспериментальные результаты эффективности датчика, полученные на кольце из проволоки с радиусом $R = 29$ см, $k = 0,5$, обозначены крестиками.

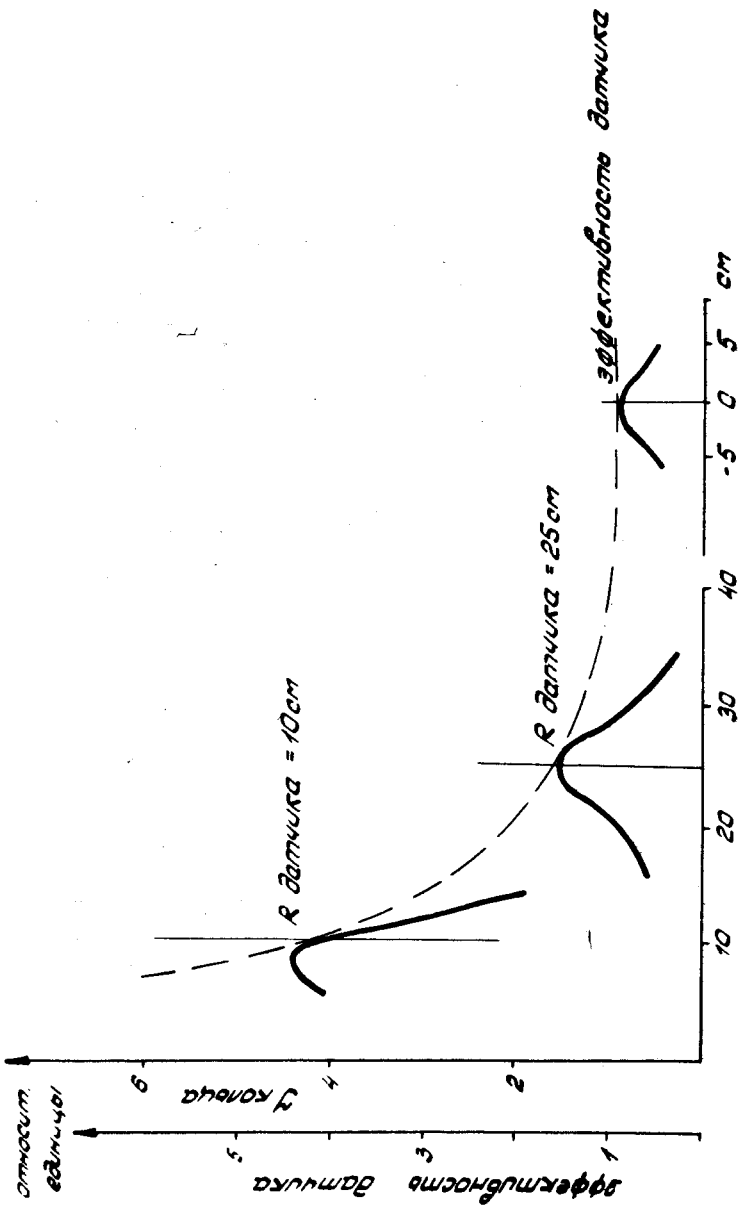


Рис. 4. Интегрированный сигнал при прохождении кольца через датчик во время сжатия /сплошная кривая/ и интенсиность тока в кольце /пунктирная/.

Здесь $0 < k < 1$ определяет положение потенциометра и $\beta = \arctg \frac{a}{\gamma}$. Кривые для разных k также показаны на рис. 3.

Компенсация внешнего симметричного по отношению к медианной плоскости магнитного поля с компонентами H_r и H_z достигается в том случае, когда параметр потенциометра k удовлетворяет формуле

$$-\frac{H_r}{H_z} \operatorname{tg} a = 2k - 1.$$

Угол a был выбран равным 45° . при этом отношение упрощается:

$$\frac{H_r}{H_z} = 1 - 2k.$$

Рассмотрим влияние конечного сечения пучка на эффективность датчика в приближении прямого шнура однородной по сечению плотности тока j . Сумма аксиальных компонент $\vec{n}_i \vec{H}_k$ имеет вид

$$\vec{n}_i \vec{H}_k = - \int_{-\sigma_z}^{\sigma_z} \frac{j dz}{2\pi(a-z)} = - \frac{j}{2\pi} [\ln(a+\sigma_z) - \ln(a-\sigma_z)],$$

а радиальных -

$$\vec{n}_i \vec{H}_k = \int_{-\sigma_r}^{\sigma_r} \frac{j \epsilon(r) dr}{2\pi a},$$

где $\epsilon(r)$ - эффективность датчика в зависимости от радиуса /рис. 3/.

Результаты расчетов приведены на рис. 5. Из него видно, что для круглого сечения эффективность равна $\approx 100\%$, как в случае кольца точечного сечения.

2. Измерительная схема с датчиком

Датчик выполнен в виде вилки, которая движется по радиусу /рис. 6/, на ее концах находятся одновитковые катушки малой индуктивности ($0,2 \mu\text{H}$). Для достижения однородного волнового сопротивления петля сделана из подводящего кабеля ^{1/2}. На внешней стороне кабеля катушек имеется металлический экран из проволочек, кото-

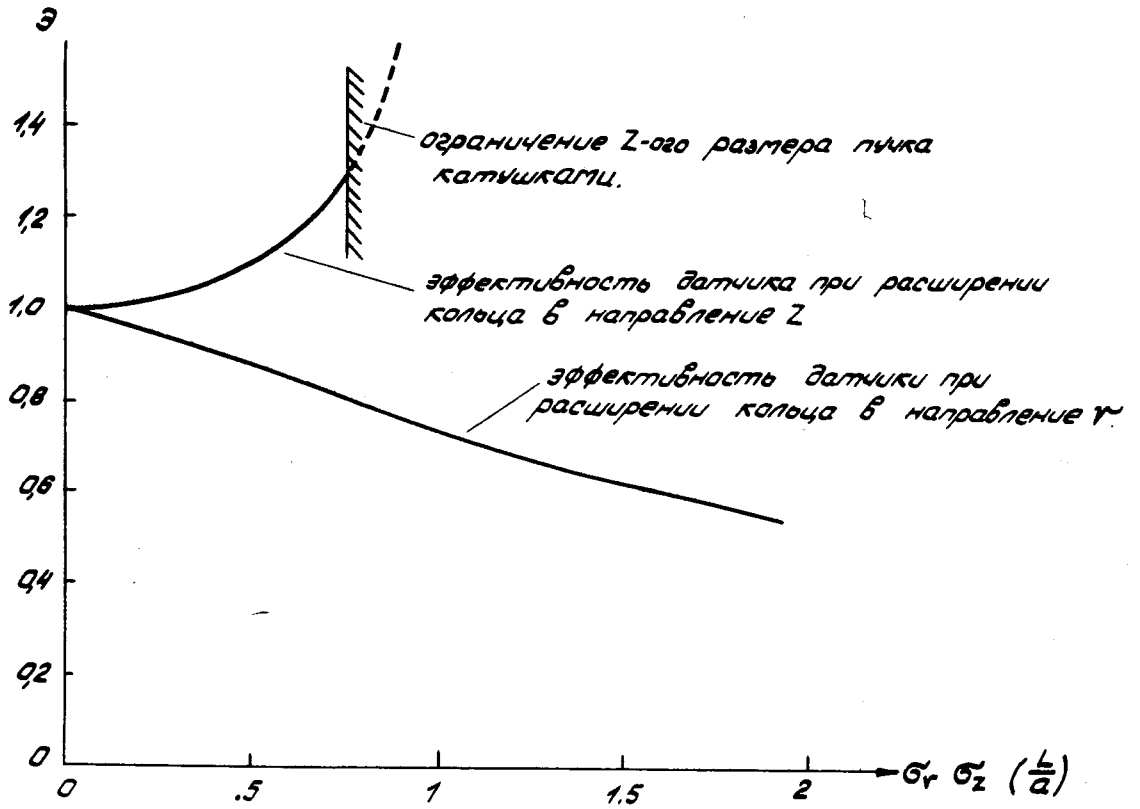


Рис. 5. Эффективность датчика при расширении кольца в радиальном и аксиальном направлениях.

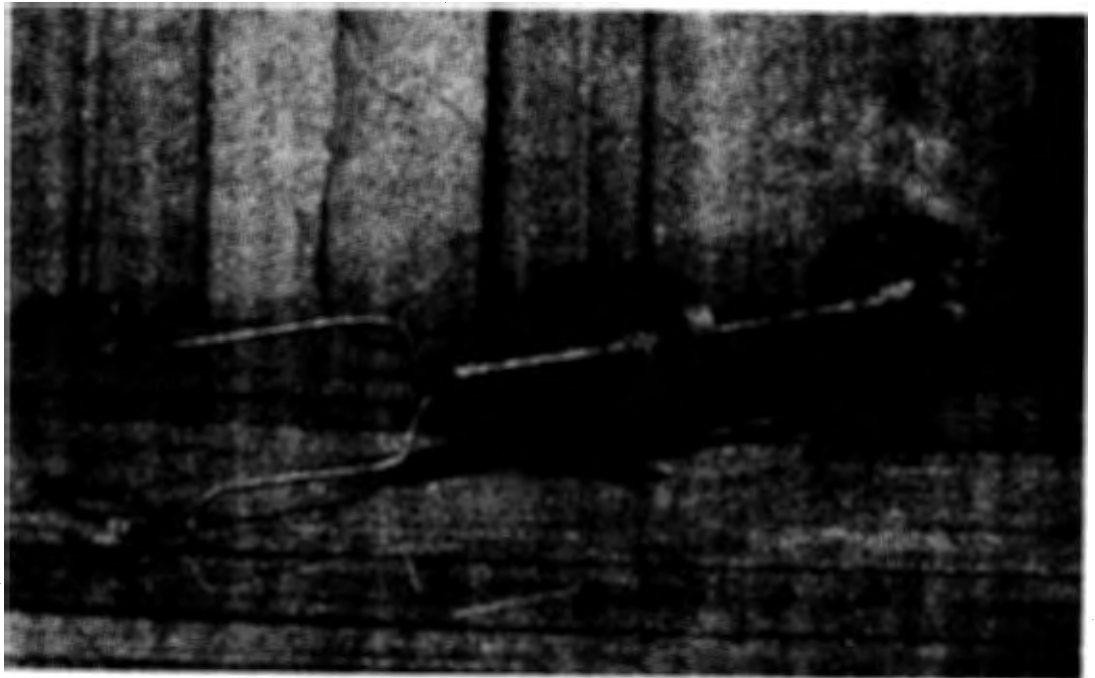


Рис. 6. Общий вид датчика.

рый защищает катушку от электрической наводки и быстрых электронов. Подводящие к катушкам кабели находятся в экранирующих трубках.

Измерения проводились по схеме, показанной на рис. 2. Катушки дают дифференциальный сигнал и могут работать в схеме с интегратором. Напряжение на осциллографе U в случае дифференциального сигнала от тока в кольце J есть

$$\frac{dJ}{dt} \approx \frac{dU}{dt} \frac{L}{R} + U,$$

R - сопротивление в измерительной схеме для согласования кабеля. Уравнение упрощается в случае малого

$$\frac{dU}{dt} \frac{L}{R} / \frac{L}{R} \text{ мало, } U \text{ близко к максимальному.}$$

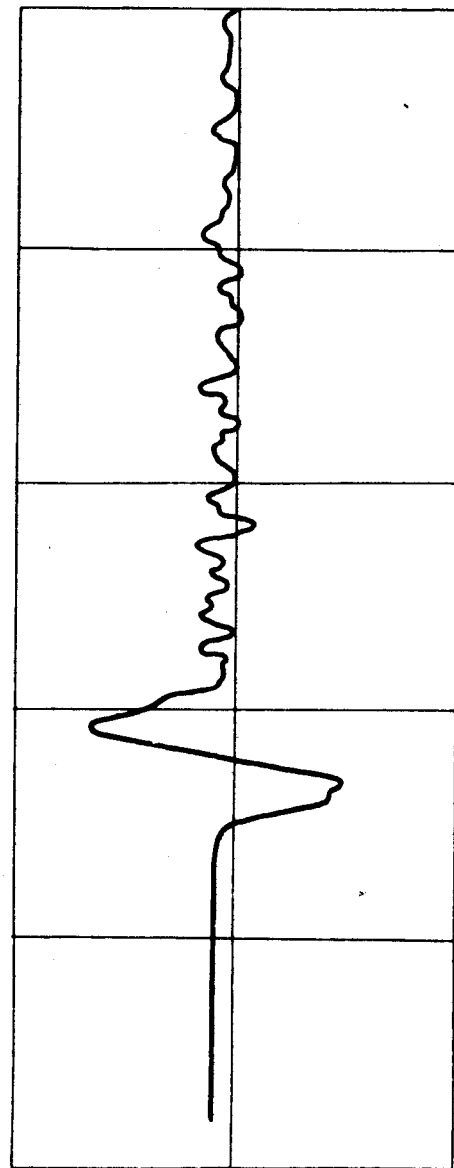
Постоянная времени схемы $\frac{L}{R} = 2.7 \text{ нс}$ даст возможность работать с достаточным разрешением. Если падение напряжения на индуктивности катушки пренебрежимо мало, то при измерениях с интегрирующей цепочкой напряжение на выходе $U \approx \frac{J}{RC}$, где R и C - постоянные интегрирующей цепочки.

3. Контрольные эксперименты

Измерения были проведены в адгезаторе модели коллективного ускорителя^{/3/}. Был использован импульсный пучок с длительностью $\approx 20 \text{ нс}$ и амплитудой тока $\approx 40 \text{ А}$. Сигналы тока в кольце на радиусе инжекции показаны на рис. 7,8 /дифференциальные сигналы/ и 9,10 /интегральные/. На рис. 7 и 9 представлены результаты, полученные при измерении одного оборота пучка, а на рис. 8,10 - нескольких первых оборотов.

Результаты измерений на радиусе $R=30 \text{ см}$ показаны на рис. 11. Из рисунка видно, что пучок существует некоторое время. Путем измерений можно определить время его жизни.

На рис. 12 и 13 представлены осциллограммы, которые показывают синхронизацию пучка с быстрым полем^{/4/} во время инжекции. Для этого измерения внешнее поле не было полностью скомпенсировано. Такое наблю-



50 нсек/дел.

Рис. 7. Дифференциальный сигнал датчика первого оборота пучка / $R=39 \text{ см}$ /.

10 В/дел.

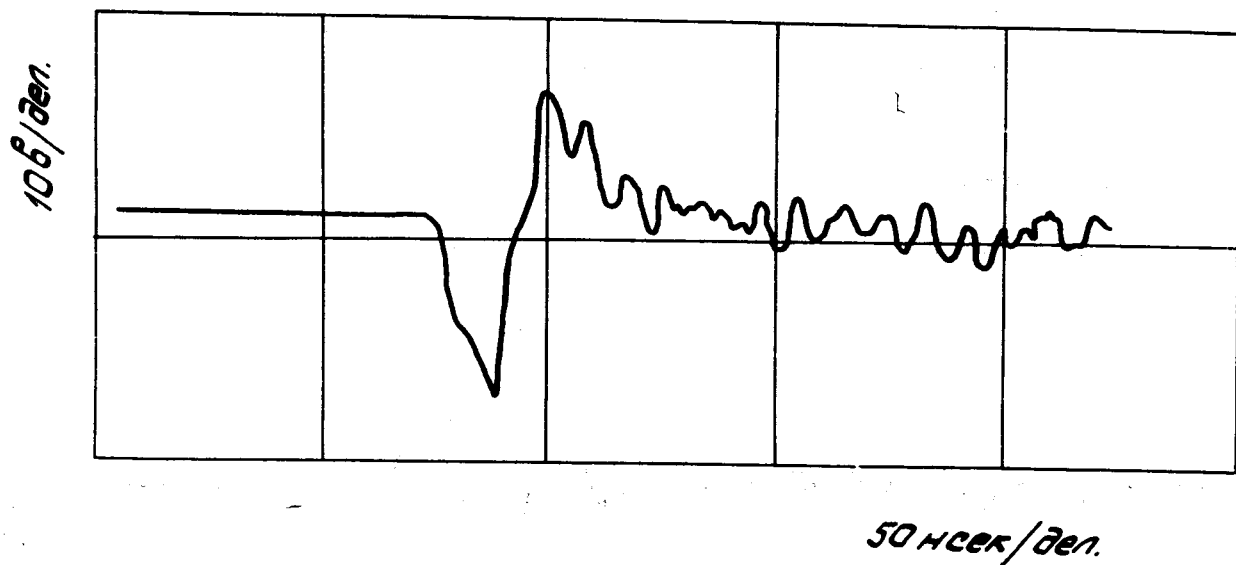


Рис. 8. Дифференциальный сигнал датчика первых оборотов.



Рис. 9. Сигнал тока одного оборота / $R = 39$ см/.

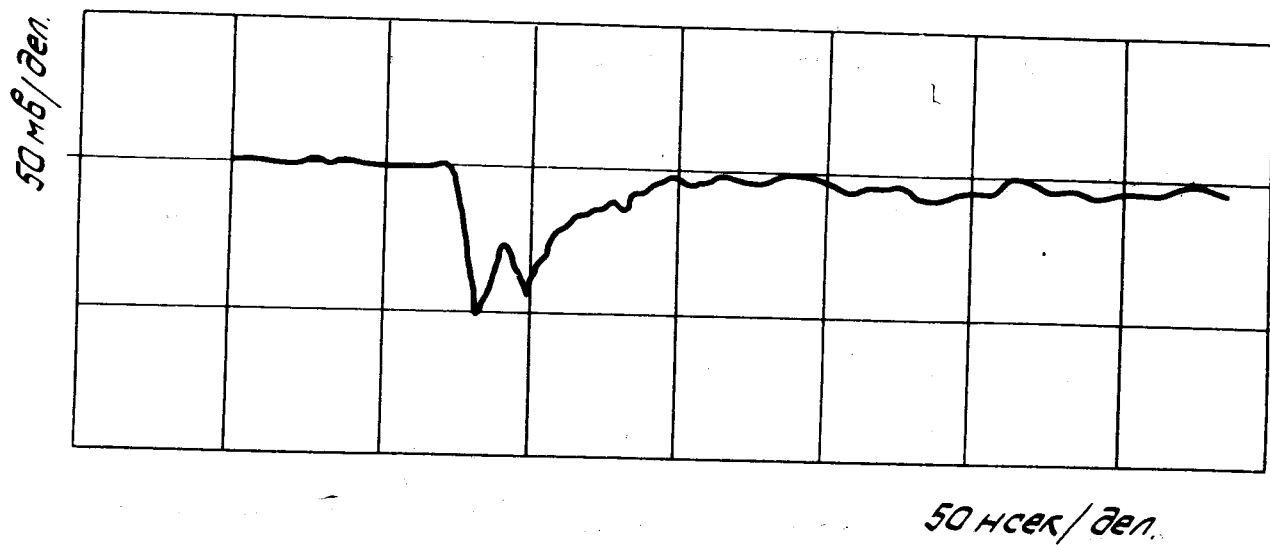


Рис. 10. Сигнал тока первых оборотов $R = 39$ см/.

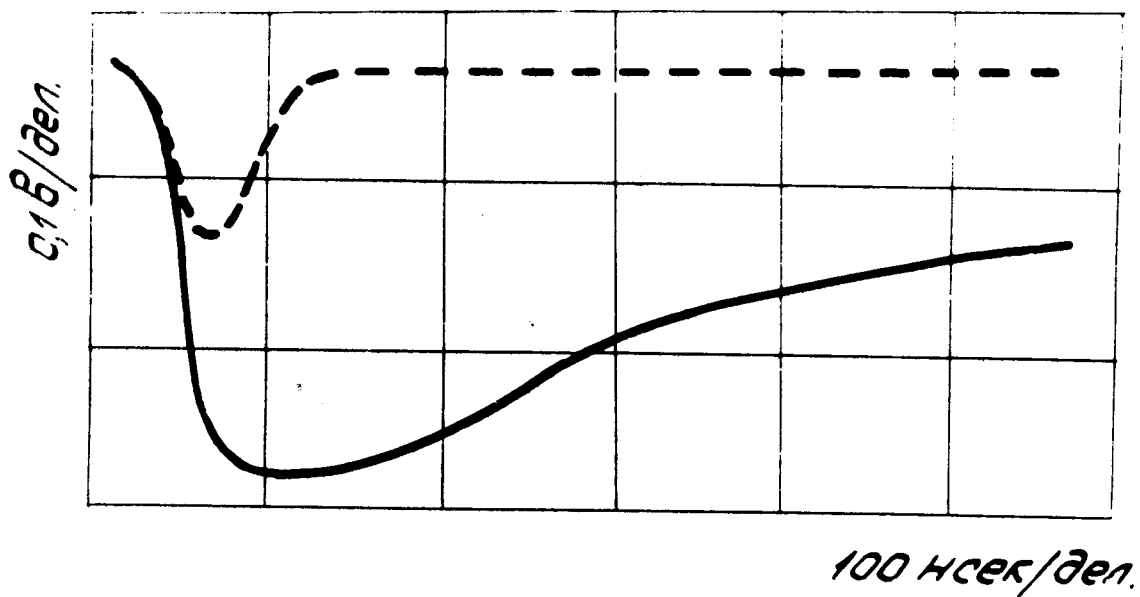


Рис. 11. Интегральный сигнал датчика на $R = 30$ см.
 - - - - сигнал одного оборота. — сигнал первых оборотов.

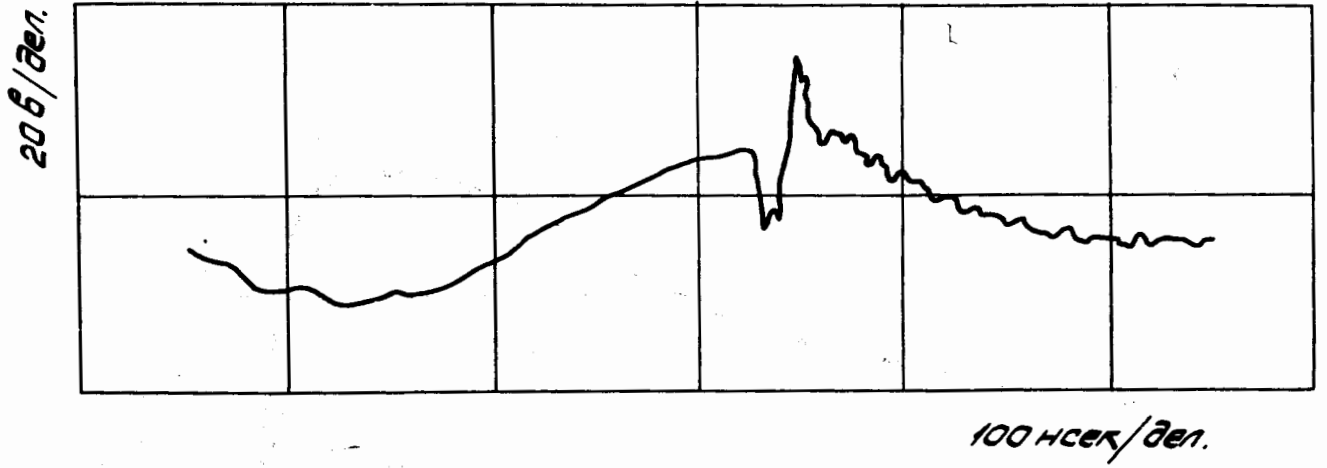


Рис. 12. Проверка временного соотношения между быстрым полем и инъекцией пучка. Сигнал получен от датчика с дифференциальной схемой.

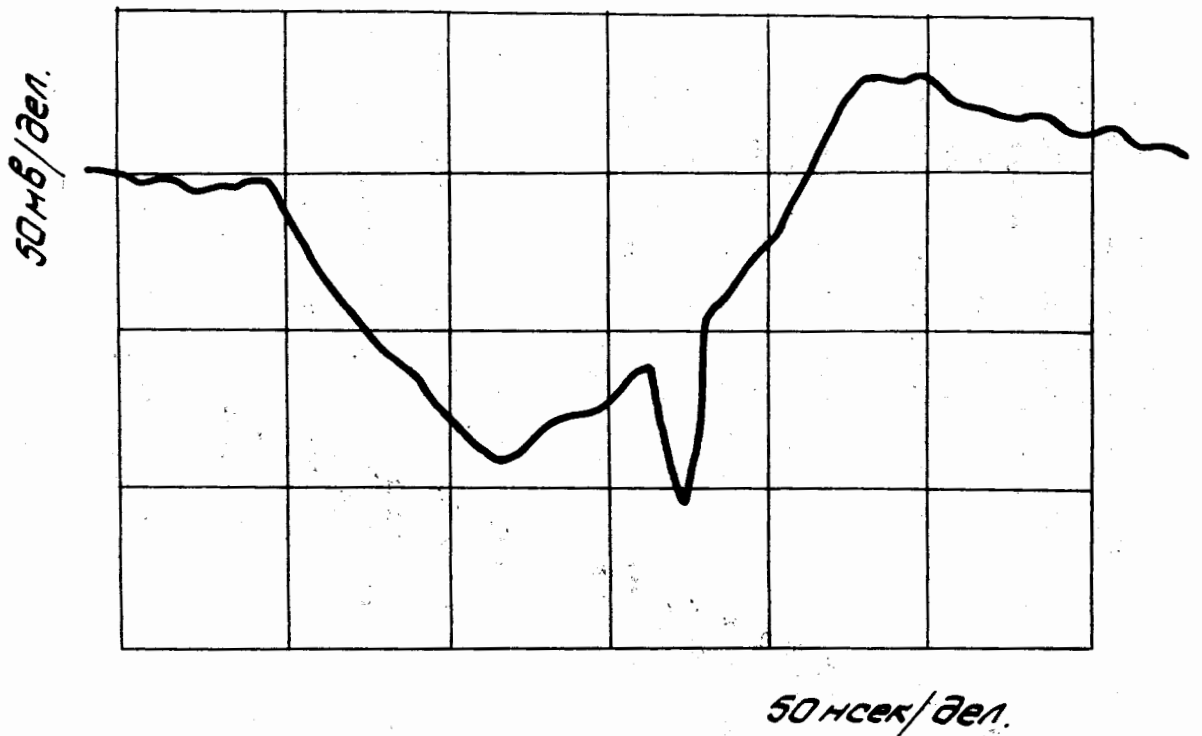


Рис. 13. Проверка временного соотношения между быстрым полем и инъекцией пучка. Сигнал электрического тока.

дение можно использовать для подстройки времени инжекции относительно внешнего поля. Было измерено искажение внешнего магнитного поля датчиком. Оно составляет $\approx 1,5 \pm 1,0\%$ вблизи катушек для магнитного поля с длительностью импульса $\tau = 200$ нс.

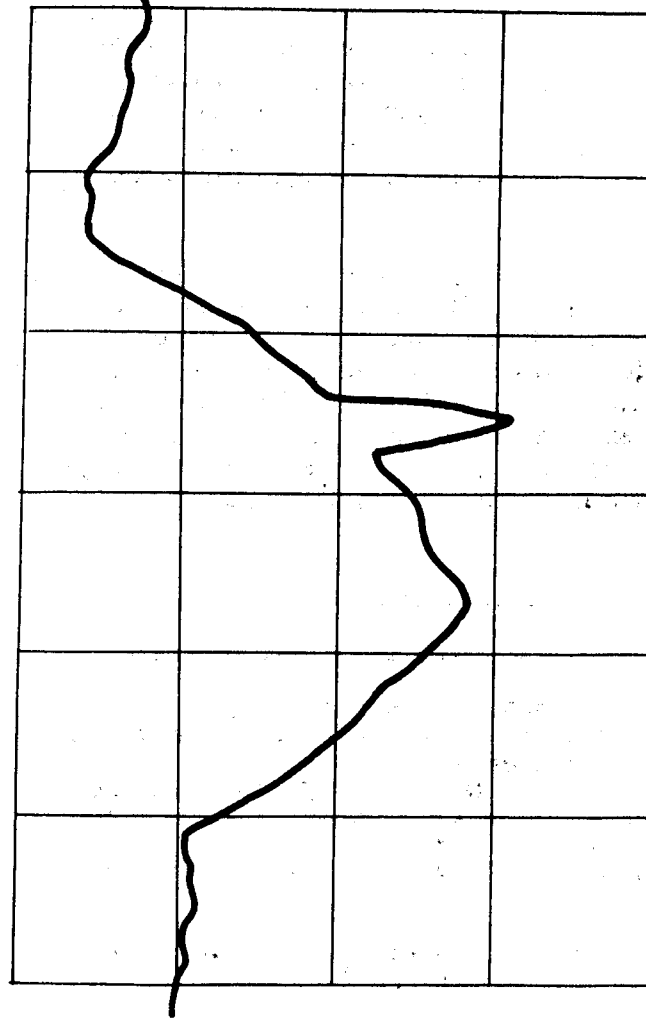
Датчик был проградуирован импульсом электрического тока 70 А, 300 нс, который проходил по проволочному кольцу, помещенному в центре датчика. С интегратором $\tau = 2$ мс/ была получена градуировочная константа 1,7 мВ/А.

Авторы выражают искреннюю благодарность В.П.Саранцеву за поддержку, И.Н.Иванову за детальное обсуждение работы, В.П.Рашевскому за полезные дискуссии, В.А.Дрожжину за постоянную помощь при проведении этой работы, А.А.Рашевской за конструирование датчика, а также коллективу модели коллективного ускорителя за обеспечение работы электронного ускорителя и адгезатора во время испытания датчика.

Литература

1. И.Габанец и др. Сообщение ОИЯИ, Р9-8353, Дубна, 1974.
2. C.Andelfinger, W.Herrmann, M.Ulrich. Report. Max-Planck Institut für Plasmaphysik, Garching bei München, IPP 0/9, Sept. 1971.
3. И.Н.Иванов и др. Проблемы физики элементарных частиц и атомного ядра, том. 1, выпуск 2, Москва, Атомиздат, 1971.
4. В.М.Жабицкий и др. Сообщение ОИЯИ, Р9-8354, Дубна, 1974.

Рукопись поступила в издательский отдел
1 сентября 1975 года.



50 мВ/дел

50 нсек/дел

Рис. 13. Проверка временного соотношения между быстрым полем и инжекцией пучка. Сигнал электрического тока.