

С-355

ИЭ 1968 № 3 С 25

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

9 - 3378



В.Ф. Сиколенко

ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

АППАРАТУРА ДЛЯ ДОЗИРОВКИ
ИНТЕНСИВНОСТИ ПУЧКА ВТОРИЧНЫХ ЧАСТИЦ
В КАНАЛЕ СИНХРОФАЗОТРОНА ОИЯИ

1967.

9 - 3378

В.Ф. Сиколенко

АППАРАТУРА ДЛЯ ДОЗИРОВКИ
ИНТЕНСИВНОСТИ ПУЧКА ВТОРИЧНЫХ ЧАСТИЦ
В КАНАЛЕ СИНХРОФАЗОТРОНА ОИЯИ

Направлено в ПТЭ

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

5224/2 мр.

В в е д е н и е

В работе ^{/1/} обоснована необходимость и показаны преимущества облучения пузырьковых камер пучками частиц неизменной интенсивности. Ниже приводится описание аппаратуры, с помощью которой осуществляется дозировка интенсивности в канале частиц с импульсом 5 Гэв/с синхрофазотрона ОИЯИ.

Обычно стабилизация интенсивности при облучении пузырьковых камер осуществляется за счёт отклонения пучка от нормальной траектории с помощью импульсного магнитного поля, включаемого после набора заданного количества частиц регистрирующей аппаратурой. При этом интенсивность в начале канала превышает установленную величину стабилизации ^{/1,2/}.

Таким образом, комплекс аппаратуры для дозировки интенсивности состоит из двух основных частей: устройств формирования импульсного магнитного поля и устройств, вырабатывающих пусковой импульс после набора установленного числа частиц.

В ^{/1/} сформулированы основные требования к импульсу магнитного поля:

фронт нарастания $15 \div 20$ мксек;

длительность импульса $2 \div 2,5$ мсек;

минимальное значение произведения напряженности магнитного поля на длину пролета частицы в поле $H_{\min} \ell = 26$ кэ. см;

максимальное значение этого произведения $H_{\max} \ell = 50$ кэ. см.

По условиям, вытекающим из геометрии и магнитной оптики канала, минимальный диаметр ионопровода в месте установки импульсного магнита не может быть меньше 250 мм.

Выбор метода формирования магнитного поля

При необходимости формирования импульсов магнитного поля с малым временем нарастания возникают известные трудности, связанные с наличием индуктивности обмотки магнита, препятствующей быстрому нарастанию тока при питании магнита от внешнего генератора. Эта трудность может быть преодолена применением схем, в которых индуктивность нагрузки органически входит в контур формирования импульса, являясь одним из его элементов ^{/2,3/}.

Применение схемы ^{/2/} ограничено определенным отношением длительности импульса к времени его фронта и не позволяет производить независимую регулировку указанных параметров, необходимость в которой может возникнуть в процессе настройки системы на заданную точность дозировки.

Схема формирования, ^{/3/} использующая искусственную формирующую линию, весьма критична к нагрузке, сравнительно сложна в изготовлении и громоздка.

Аппаратура формирования, описанная в ^{/4/}, компактна, свободна от перечисленных недостатков ^{/2/}, но применима лишь при малых значениях апертуры пучка. Известную трудность также составляет изготовление пермаллоевых сердечников нужных размеров.

В ^{/5/} приведено обоснование и вывод основных расчетных соотношений метода генерирования импульсов тока с малым временем нарастания в индуктивной нагрузке с применением отдельных контуров формирования фронта и длительности путем разряда накопительных конденсаторных батарей. Этот метод позволяет осуществить независимую регулировку фронта и длительности импульса изменением соответствующих емкостей и легко осуществим, т.к. содержит небольшое количество стандартных деталей (за исключением обмотки импульсного магнита). К недостаткам метода следует отнести существенное отличие формы генерируемого импульса от прямоугольной и сравнительно низкий коэффициент полезного действия.

Импульсный магнит

Обмотка импульсного магнита расположена на участке ионопровода, вы — полненного из бакелитовой трубы, которая оконцована металлическими фланцами, посаженными на эпоксидный клей. Внутренняя поверхность бакелитовой трубы покрыта тонким слоем эпоксидной смолы, исключающей гажение при откачке внутреннего объема ионопровода до форвакуума. Катушка импульсного магнита охватывает ионопровод (рис. 1) на длине 800 мм. Для ослабления влияния скин-эффекта она выполнена из изолированного провода диаметром 1,5 мм. Катушка состоит из двух секций, намотанных "внавал". Секции обмотаны изоляционной лентой и мягко закреплены на ионопроводе, что обеспечивает возможность малых перемещений обмоток в момент импульса, исключая деформацию и разрушение катушки.

Топография магнитного поля внутри ионопровода снималась с помощью датчика Холла. Для компенсации остаточного напряжения, возникающего на датчике в импульсном режиме вследствие его конечных размеров и наводок на подводящие провода, применялась специальная компенсирующая петля, включенная последовательно с датчиком. Результаты измерений в трех плоскостях даны на рис. 2, 3, 4, 5. Расположение координатных осей приведено на рис. 6. Размеры пучка в месте установки импульсного магнита составляют приблизительно 70 x 60 мм. Как следует из приведенных графиков, в месте прохождения пучка можно считать магнитное поле однородным.

Аппаратура формирования импульсов магнитного

поля

Эквивалентная схема цепи формирования приведена на рис. 7^{6/}. Принципиальная схема цепи представлена на рис. 8. Контур формирования фронта ($C_1; K_1; L$ — на рис. 7) состоит из тиратрона L_2 , емкости 0,5 мкф и индуктивности обмотки импульсного магнита L . Контур формирования длительности ($C_2; K_2; L$ на рис. 7) составлен из тиратрона L_3 , емкости 2400 мкф и индуктивности L . Работа системы осуществляется следующим образом. Пролет вторичных частиц в канале регистрируется с помощью фотоумножителей ФЭУ (рис. 8) и схемы совпадений СС. Выходные импульсы

сы блока СС поступают на датчик интенсивности ДИ-2, который вырабатывает импульс, соответствующий установленному номеру частицы (описание блока ДИ-2 см. ниже). Импульс с выхода ДИ-2 через буферный каскад БК поступает на сетку тиратрона Л1, формирующего пусковой импульс для мощного тиратрона Л2. Запуск мощного водородного тиратрона осуществляется через импульсный трансформатор ТИ1. В момент времени, когда разрядный ток емкости контура формирования фронта через индуктивность нагрузки L достигает максимума, включается тиратрон Л3 контура формирования длительности. Синхронизация контуров формирования параметрическая, с помощью задержки Z . Осциллограмма импульса полученного магнитного поля приведена на рис. 9. Тиратрон Л3 - ртутный, типа ТР 1-85/15. Максимальный ток коммутации, измеренный на шунте $R_{ш}$, равен приблизительно 2000 а. Как показал опыт, тиратрон в указанном режиме работает удовлетворительно. Следует отметить, что применение в том же режиме тиратрона ТР1-40/15 недопустимо - прибор выходит из строя через несколько часов.

Применение ртутного выпрямительного тиратрона для коммутации сравнительно больших токов обусловлено необходимостью получения малых значений времени развития разряда в коммутирующем устройстве (существенно меньшего длительности фронта). Рассчитанные на коммутацию больших токов игнитроны имеют время развития разряда порядка нескольких десятков мксек и в нашем случае не применимы. Для сведения к минимуму времени задержки в запуске ртутного тиратрона на его сетку подается импульс с амплитудой около 1 кв, сформированный с помощью тиратрона ТГЗ-0,1/1,3 (рис. 8).

Следует подчеркнуть особую важность исключения взаимного влияния контуров формирования. С этой целью сетка тиратрона Л3 зашунтирована емкостью 6000 пф и запуск обоих тиратронов производится через импульсные трансформаторы, исключающие обратную реакцию тиратронов на запускающие каскады. Дополнительная развязка регистрирующей аппаратуры от мощных каскадов происходит за счёт применения буферных блоков БК (рис. 8).

Для защиты низковольтного выпрямителя (питания конденсаторной батареи) от импульсов высокого напряжения, возникающих при срабатывании контура формирования фронта, в зарядную цепь конденсаторной батареи введены дроссели Др. 1 и емкость 1 мкф. Общий вид аппаратуры формирования магнитного поля приведен на рис. 10.

Конденсаторная батарея размещена в стойке в два этажа. Для предотвращения возможного взрыва в случае короткого замыкания в одной из конденсаторных банок все конденсаторы соединены с шиной через плавкие предохранители. Для устранения наводок на измерительные системы монтаж цепей, по которым проходит ток импульсного магнита, выполнен медной шиной. Заземление осуществляется в одной точке. Питание к катушкам магнита подается через коаксиальный кабель, рассчитанный на рабочее напряжение 15 кв.

Датчик интенсивности

Блок-схема датчика интенсивности ДИ-2 приведена на рис. 11. Выходной импульс схемы совпадений (см. рис. 10) поступает через ключ (рис. 11) на счётную декаду и два триггера ТГ. С помощью диодных дешифраторов с переключателей можно снять любой импульс от 1 до 39, что позволяет производить ограничение интенсивности в указанных пределах. Для однозначного получения установленного номера импульса и индикации правильного срабатывания датчика применена система логических элементов $T_2; K_2; T_1; K_1$. Импульс, соответствующий десяткам установленного числа, через триггер Т2 дает разрешение на прохождение через ключ К2 импульса установленного числа единиц. Этот импульс проходит на усилитель мощности УМ и одновременно поступает на триггер Т1, закрывающий ключ К1. Счёт прекращается, и на цифровом табло счётчика фиксируется правильность набора заданного числа. Ограничение (дозировка) интенсивности системой индицируется с помощью специальной контрольной пересчётки с выводом результатов измерений на самописец. Установка нуля (исходного положения) осуществляется внешним импульсом или вручную.

Результаты испытания системы дозирования пучка

Максимальное значение магнитного поля на оси ионопровода в точке О (рис. 2), измеренное по методике, описанной выше, составляет 1000 э.

Для определения эффективного значения произведения $H_0 \ell_{\text{эф}}$ вдоль оси ионопровода графически вычислен интеграл:

$$H_0 \cdot \ell_{\text{эф}} = \int_0^{\ell} H_0 \, d\ell = 67 H_0 [\text{э} \cdot \text{см}] .$$

Для максимального во времени значения напряженности магнитного поля это соответствует $67 \cdot 10^3$ э·см. За время фронта магнитное поле нарастает приблизительно до половины указанного значения (см. рис. 9).

Результаты измерения пространственного положения пучка без магнитного поля и с магнитом полем приведены в /1/, из них следует, что максимальное смещение пучка происходит на 80 мм.

На рис. 12 дана диаграмма самописца с записью интенсивности без применения дозирования.

На рис. 13 приведена диаграмма записи интенсивности при работе аппаратуры дозирования (стабилизации) интенсивности: в обоих случаях среднее значение интенсивности имеет одно и то же значение /1/. Как следует из диаграммы рис. 14, параметры импульса магнитного поля, сформированного описанной аппаратурой, удовлетворяют поставленной задаче.

Заключение

1. Разработана аппаратура формирования импульсов магнитного поля с фронтом нарастания $15 \div 20$ мксек длительностью 2,5 мксек при $H_{\text{max}} \ell = 67 \text{кэ} \cdot \text{см}$.
2. При импульсе частиц пучка 5 Гэв/с получен угол отклонения ≈ 4 мрад, что соответствует отклонению пучка на 80 мм.
3. Экспериментально установлено, что с применением разработанной аппаратуры интенсивность пучка в канале отличается от заданной не более чем на 10%.

Л и т е р а т у р а

1. В.В.Глаголев, Э.В.Козубский, Р.М.Лебедев, Н.И.Малашкевич, С.В.Мухин, Н.И.Павлов, А.Прокеш, И.Н.Семенюшкин, В.Ф.Сиколенко. Препринт ОИЯИ, 13-3422, Дубна, 1987.
2. E.Chesi, F.Wittgenstein, CERN /TC/BEAM64-1 (1964).
3. J.Durand, O.Kluber, H.Wulff. Zeitschrift für Angewandte Physik, 12 Band, 9 Heft, 393 (1960).
4. A.Faltens, J.Barale. The Review of Scientific Instruments, 11, 1463 (1966).
5. В.Ф.Сиколенко. Препринт ОИЯИ, 13-3252, Дубна, 1987.

Рукопись поступила в издательский отдел
13 июня 1987 года.

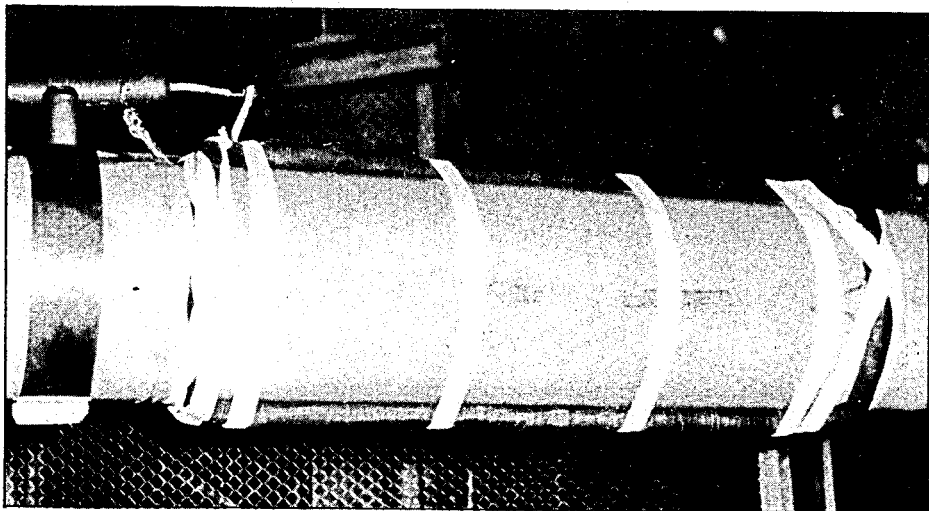


Рис. 1. Катушка отклоняющего магнита.

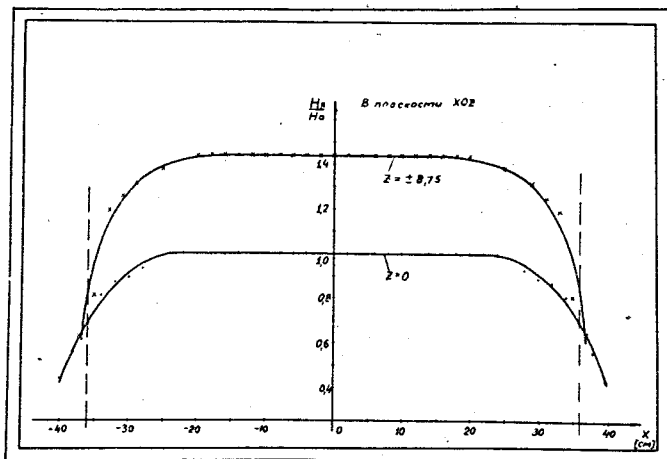


Рис. 2. Пространственное распределение H_x в плоскости XOZ.

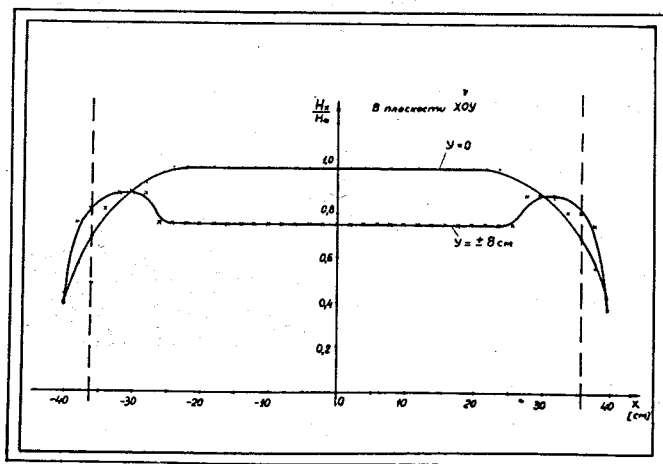


Рис. 3. Пространственное распределение H_x в плоскости XOY.

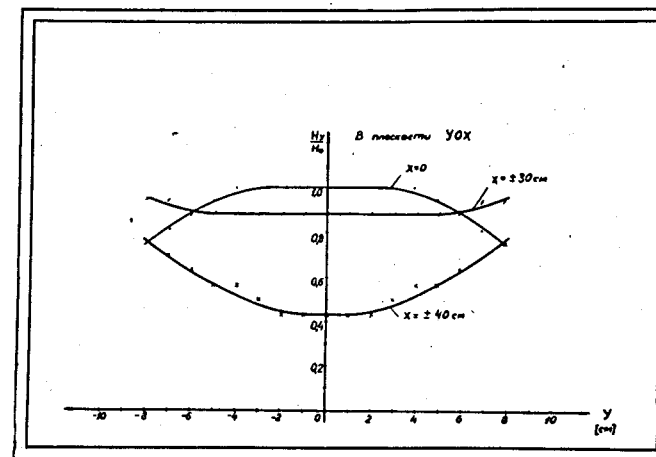


Рис. 4. Пространственное распределение H_y в плоскости YOX.

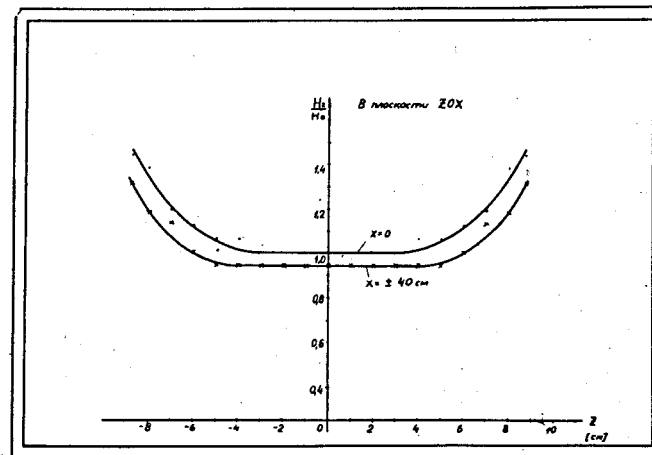


Рис. 5. Пространственное распределение H_z в плоскости ZOY.

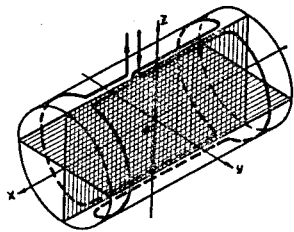


Рис. 6. Эскиз участка ионопровода.

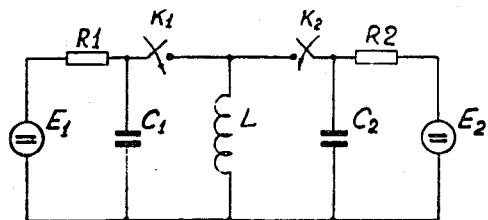


Рис. 7 Эквивалентная схема цепи формирования.

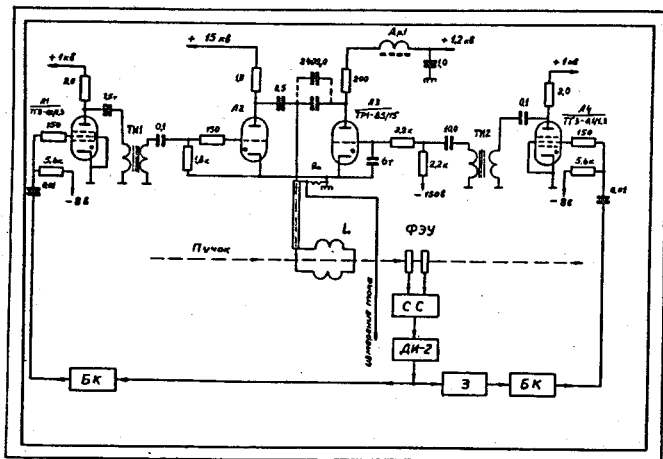


Рис. 8. Принципиальная схема устройства дозирования интенсивности.

- СС - схема совпадений;
- ДИ-2 - датчик интенсивности;
- З - задержка;
- БК - буферные каскады.

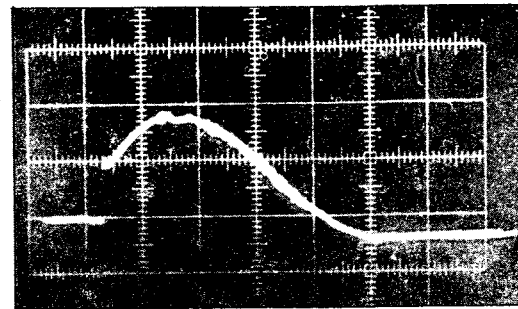


Рис. 9. Осциллограмма импульса магнитного поля.
Длительность развертки 1 мсек/см.

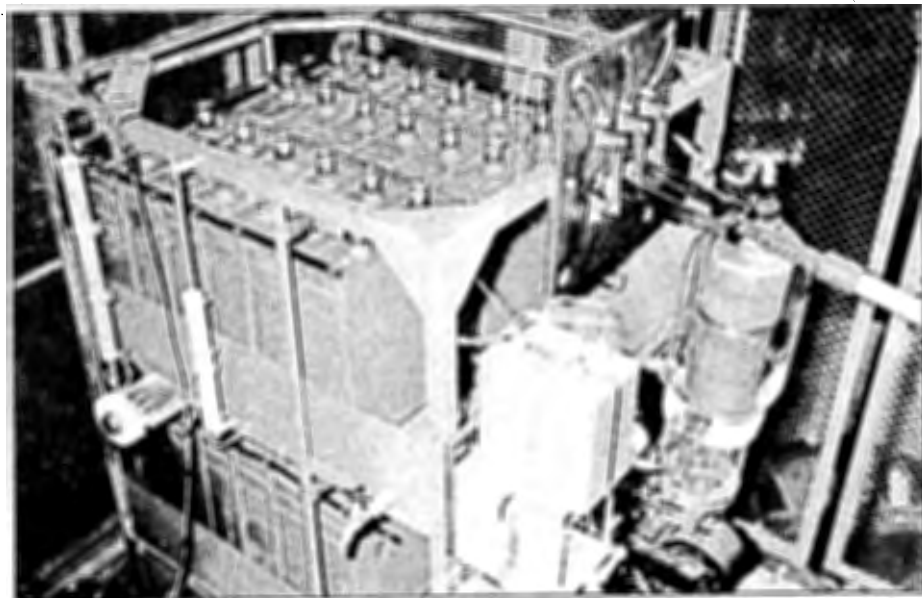


Рис. 10 Общий вид аппаратуры формирования магнитного поля.

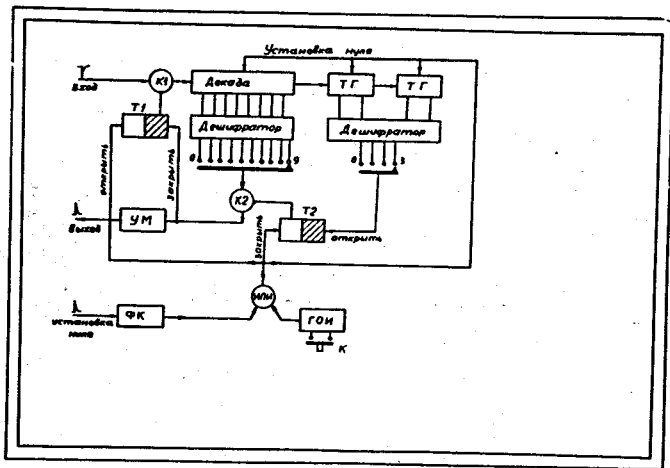


Рис. 11. Блок-схема датчика интенсивности ДИ-2.
 ТГ - триггер счётчика;
 Т₁; Т₂ - управляющие триггеры;
 К₁; К₂ - ключи;
 УМ - усилитель мощности;
 ФК - формирующий каскад;
 ГОИ - генератор одиночных импульсов.

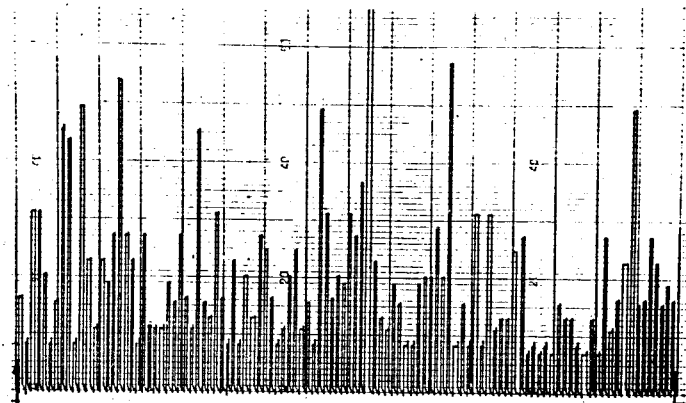


Рис. 12. Распределение интенсивности пучка вторичных частиц в циклах ускорителя без системы дозирования.

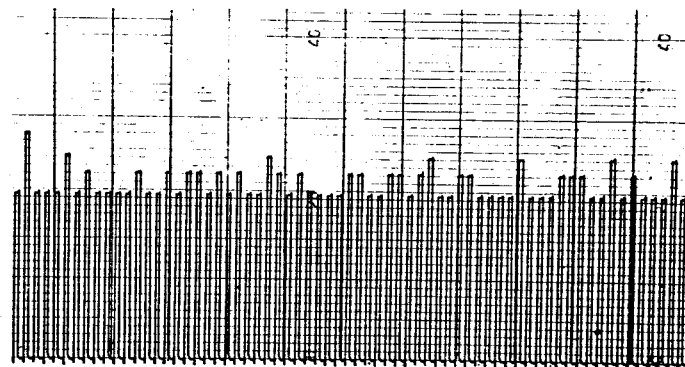


Рис. 13. Распределение интенсивности пучка вторичных частиц в циклах ускорителя с применением системы дозирования.