

С 345 0

15/III - 65

Д-183

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P-1985



ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

В.И.Данилов, И.Б.Енчевич, Б.И.Замолодчиков,
Э.А.Полферов, Е.И.Розанов, В.И.Смирнов, В.Г.Тестов

УВЕЛИЧЕНИЕ ДЛИТЕЛЬНОСТИ
ИМПУЛЬСОВ ПУЧКОВ ЧАСТИЦ
СИНХРОЦИКЛОТРОНА ОИЯИ НА 680 МЭВ

1965

В.И.Данилов, И.Б.Енчевич, Б.И.Замолдчиков,
Э.А.Полферов, Е.И.Розанов, В.И.Смирнов, В.Г.Тестов

УВЕЛИЧЕНИЕ ДЛИТЕЛЬНОСТИ
ИМПУЛЬСОВ ПУЧКОВ ЧАСТИЦ
СИНХРОЦИКЛОТРОНА ОИЯИ НА 680 МЭВ

Направлено в журнал "Атомная энергия"

Специальный институт
теории и экспериментальной
физики

2992/3 48

Ускоряемые в синхротронных ионах образуют сгусток, форма и размеры которого определяются радиально-фазовыми и бетатронными колебаниями. В результате взаимодействия такого сгустка с мишенью, установленной на конечном радиусе ускорения, или с магнитным полем системы вывода пучки вторичных частиц и выведенных протонов имеют вид импульсов (макроструктура пучков), которые в свою очередь состоят из микроимпульсов (микроструктура пучков). Для синхротрона ОИЯИ длительность макроимпульсов пучков частиц (длительность импульса) составляет примерно 600 мксек, т.е. около 8% от периода модуляции.

Однако при проведении на ускорителе некоторых экспериментов, в частности при работе со схемами совпадений, желательно иметь импульсы пучков максимально возможной продолжительности при сохранении неизменным их интегрального потока. Устранение или сглаживание импульсной структуры приводит к снижению загрузки аппаратуры, к понижению плотности фонового излучения и, таким образом, к более эффективному использованию ускорителя. В опытах, направленных на исследование различных процессов распада и захвата пионов и мюонов (особенно процессов, идущих с низкими вероятностями), более равномерное распределение частиц во времени имеет принципиальное значение, так как открывает новые возможности для наблюдения редких событий. В этом отношении увеличение длительности макроимпульсов пучков является очень важным.

В настоящее время для увеличения длительности импульса пучка на синхротронах используется несколько различных методов /1-7/. Минимальных потерь пучка при наибольшей длительности импульса удалось достичь, прикладывая частотно-модулированное ускоряющее напряжение к дополнительному электроду, действующему на конечных радиусах ускорения /3,7/. Однако на синхротроне ОИЯИ реализация этого метода затруднена.

В настоящей работе описывается еще один метод увеличения длительности импульса пучка, испытанный на синхротроне ОИЯИ.

С достаточной для анализа точностью длительность взаимодействия пучка протонов с мишенью, установленной на радиусе r_M и азимуте ϕ_M , при сплошном спектре амплитуд радиальных колебаний можно определить из выражения:

$$T = \int_{r_M - \delta r}^{r_M} \frac{dr}{\dot{r}_s(t) + \dot{\rho}_{B.M.}(t)}, \quad (1)$$

где скорость расширения равновесной орбиты

$$\dot{r}_n = \frac{r_n}{1-n} \frac{1}{E_n \beta_n^2} \frac{\omega_n}{2\pi} e V_0 \sin \phi_n = \frac{r_n}{1-n} \frac{1}{K_n \beta_n^2 \omega_n} \frac{d\omega}{dt},$$

$\dot{\rho}_{в.м.}(t)$ - скорость движения равновесной орбиты за счет вынужденных колебаний на азимуте ϕ_m

$$n = -\frac{r}{H} \frac{\partial H}{\partial r}, \quad K = 1 + \frac{n}{1-n} \frac{1}{\beta^2}, \quad \beta = \frac{v}{c},$$

v, ω, E - соответственно скорость, частота обращения и полная энергия частицы, c - скорость света,

H - напряженность магнитного поля, $e V_0$ - максимально возможный набор энергии за оборот. Индекс n характеризует равновесные величины.

$$\delta r = \rho_{\phi} + \rho_c \quad \text{при} \quad \dot{\rho}_{\phi} = 0,$$

$$\delta r = \rho_{\phi} + 2\rho_c \quad \text{при} \quad \dot{r}_n = 0.$$

Здесь ρ_{ϕ} - максимальная амплитуда радиальных бетатронных колебаний,

ρ_c - максимальная амплитуда радиально-фазовых колебаний.

Из выражений (1) видно, что увеличивать длительность импульса практически можно увеличением интервала амплитуд радиальных колебаний и уменьшением скорости продвижения пучка по радиусу.

Необходимую для увеличения длительности импульса малую скорость продвижения пучка по радиусу можно получить за счет растущих во времени вынужденных радиальных колебаний при $\dot{r}_n = 0$. Длительность импульса может быть увеличена до периода модуляции, если только механизм возбуждения вынужденных колебаний не будет мешать процессу ускорения до конечного радиуса.

В синхротроне ОИЯИ возбуждение вынужденных радиальных колебаний пучка (как целого) на конечных радиусах осуществляется локальным переменным во времени возмущением магнитного поля ускорителя. Уравнение радиального движения в этом случае имеет вид:

$$\frac{d^2 \rho}{dt^2} + \omega^2 (1-n) \rho = -R_0 \omega^2 h(\phi, t). \quad (2)$$

Возмущение магнитного поля $h(\phi, t)$ можно представить следующим образом:

$$h(\phi, t) = h(\phi) f(t).$$

Если функцию $h(\phi)$ разложить в ряд Фурье

$$h(\phi) = \sum_{\ell=0}^{\infty} h_{\ell} \sin(\ell \phi + \alpha_{\ell})$$

и принять $f(t) = \sin \Omega t$, то вынужденную часть решения уравнения (2) можно записать

в виде:

$$\rho = \frac{R_0}{2} \sum_{\ell=0}^{\infty} \left\{ \frac{\cos[(\ell + \frac{\Omega}{\omega})\phi + \alpha_{\ell}]}{(\ell + \frac{\Omega}{\omega})^2 - (1-n)} - \frac{\cos[(\ell - \frac{\Omega}{\omega})\phi + \alpha_{\ell}]}{(\ell - \frac{\Omega}{\omega})^2 - (1-n)} \right\}. \quad (3)$$

Здесь Ω - частота возмущающего магнитного поля, R_0 - радиус равновесной орбиты.

Из выражения (3) следует, что существенной является только первая гармоника и в первом приближении можно написать:

$$\rho = \frac{R_0 h_1}{2n} \sin \frac{\Omega}{\omega} \phi \sin(\phi + \alpha_1) = \frac{R_0 h_1}{2n} \sin \Omega t \sin(\omega t + \alpha_1), \quad (4)$$

т.е. амплитуда вынужденных колебаний изменяется во времени в соответствии с изменением возмущающего магнитного поля.

Возмущающее магнитное поле в области конечных радиусов (255-275 см) создавалось двумя токовыми катушками (рис. 1), расположенными на азимуте установки мишени симметрично относительно средней плоскости. Катушки имели азимутальную протяженность $0,1\pi$. Однородность возмущающего поля по радиусу в зоне 20 см обеспечивалась с точностью 10%. В этих условиях для получения максимальной амплитуды вынужденных колебаний в 10 см ($\rho = \rho_{\phi} + 2\rho_c$) требуется импульс поля с максимальной напряженностью 700 эрстед.

Максимальная длительность пучка определяется из условия, что импульс разрядного тока не может быть больше периода модуляции, и в случае синусоидальной формы импульса она составляет около половины периода модуляции (рис. 2).

Катушка возбуждается разрядом конденсаторной батареи через управляемый вентиль синхронно с процессом ускорения. Используется шесть разрядных ячеек для повышения надежности работы блока питания катушек и уменьшения пикового значения зарядного тока. Порядок работы ячеек задается блоком управления, в котором имеется два последовательно связанных триггера, пересчитывающих входные импульсы синхронизации на три и сдвигающих их на период модуляции. Пересчитанные импульсы подаются на вход трех триггеров, осуществляющих деление их на два со сдвигом на три периода модуляции на каждом выходе (рис. 3). Импульсы запуска совпадают с импульсами, запирающими высокочастотный генератор в конце цикла ускорения. Для увеличения длительности импульса на величину, большую половины периода модуляции, необходимо использовать пилообразный импульс тока в катушках (кривая В на рис. 2). Такая схема питания в настоящее время готовится.

На рис. 4 приведены формы импульсов пучка мезонов, полученных с использованием катушек и без них.

Длительность импульса тока пучка при этом составляет 20-2,5 мсек по уровню 0,5 от максимального значения. Зависимость интенсивности растянутого пучка от тока катушек представлена на рис. 5. Из этих рисунков видно следующее:

а) полная длительность импульса пучка мезонов составляет примерно половину длительности импульса тока катушек;

б) при правильном подборе времени выключения ускоряющего напряжения, положения мишени относительно катушек и тока в катушках потеря интенсивности нет.

Л и т е р а т у р а

1. В.И.Данилов и др. Возможные пути повышения эффективности шестиметрового синхроциклотрона. Б 1-1543, ОИЯИ, Дубна, 1963.
2. B.Hedin. Longer Pulse Length a Vibrating Target in the CERN Synchrocyclotron. CERN. Report 61-21, 1961.
3. A.Cabrespine. Comptes Rendus, 250, p.2224 (1960); A.Cabrespine. J.Phys. Radium, 21, 332 (1960).
4. А.Л.Минц, Н.К.Каминский. ЖТФ, XXVII, 1337, 1957.
5. F.M.Russel. Nature, 190, 4773 (1961).
6. G.Huxtable, P.S.Rogers, F.M.Russel. Nucl. Instrum. and Methods, 23, 357 (1963).
7. E.H.Molthen. Nucl. Instr. and Methods, 29, 29 (1964).

Рукопись поступила в издательский отдел
3 февраля 1965 г.

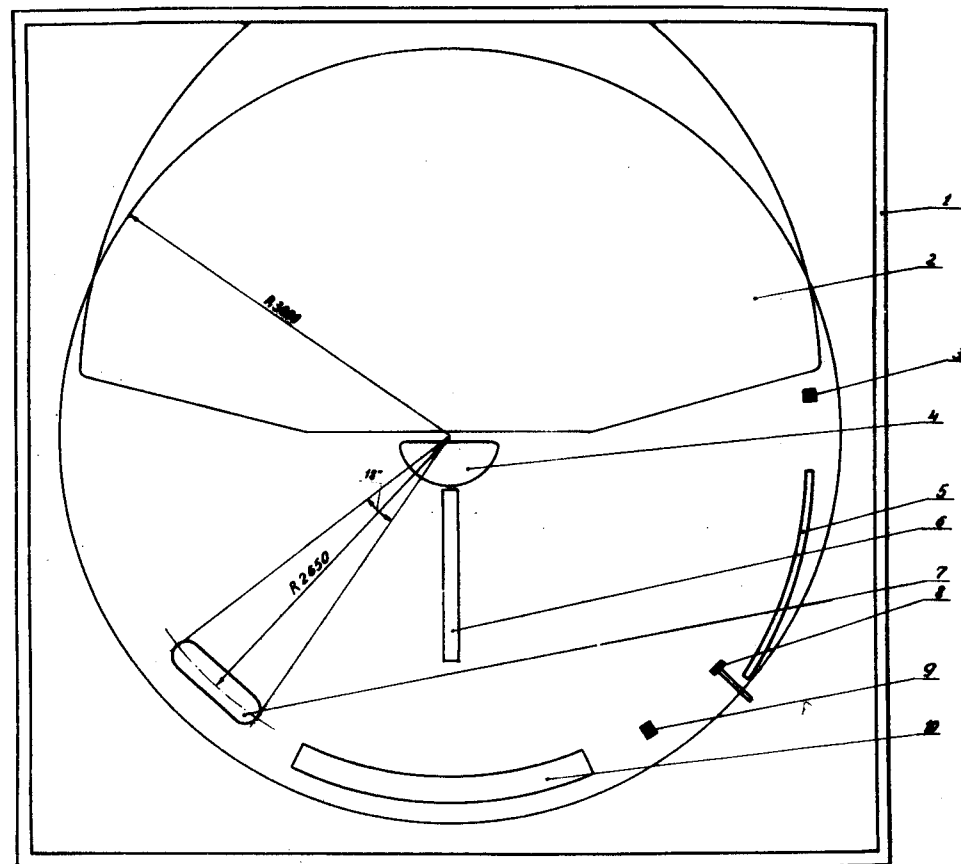


Рис. 1. Схема размещения узлов ускорительной камеры синхроциклотрона ОИЯИ.
1 - вакуумная камера, 2 - дуант, 3 - возбудитель, 4 - фокусирующий электрод,
5 - магнитный канал, 6 - пробник для измерения тока пучка на малых радиусах,
7 - катушки растяжки пучка, 8 - нейтронная мишень, 9 - регенератор,
10 - диапазон изменения положений мезонной мишени.

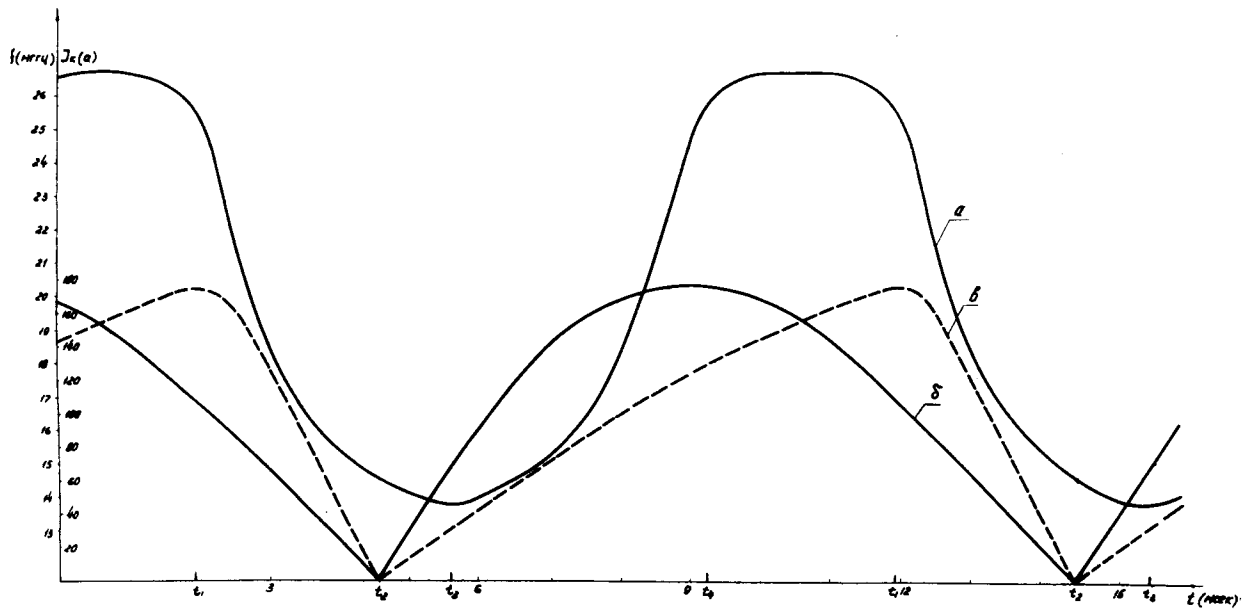


Рис. 2. Зависимости частоты ускоряющего напряжения (кривая 'а') и тока в катушках растяжки (кривые 'б' и 'б') от времени.
 t_1 - начало ускорения, t_2 - момент включения катушек растяжки, t_3 - конец ускорения, t_4 - окончание процесса растяжки пучка.

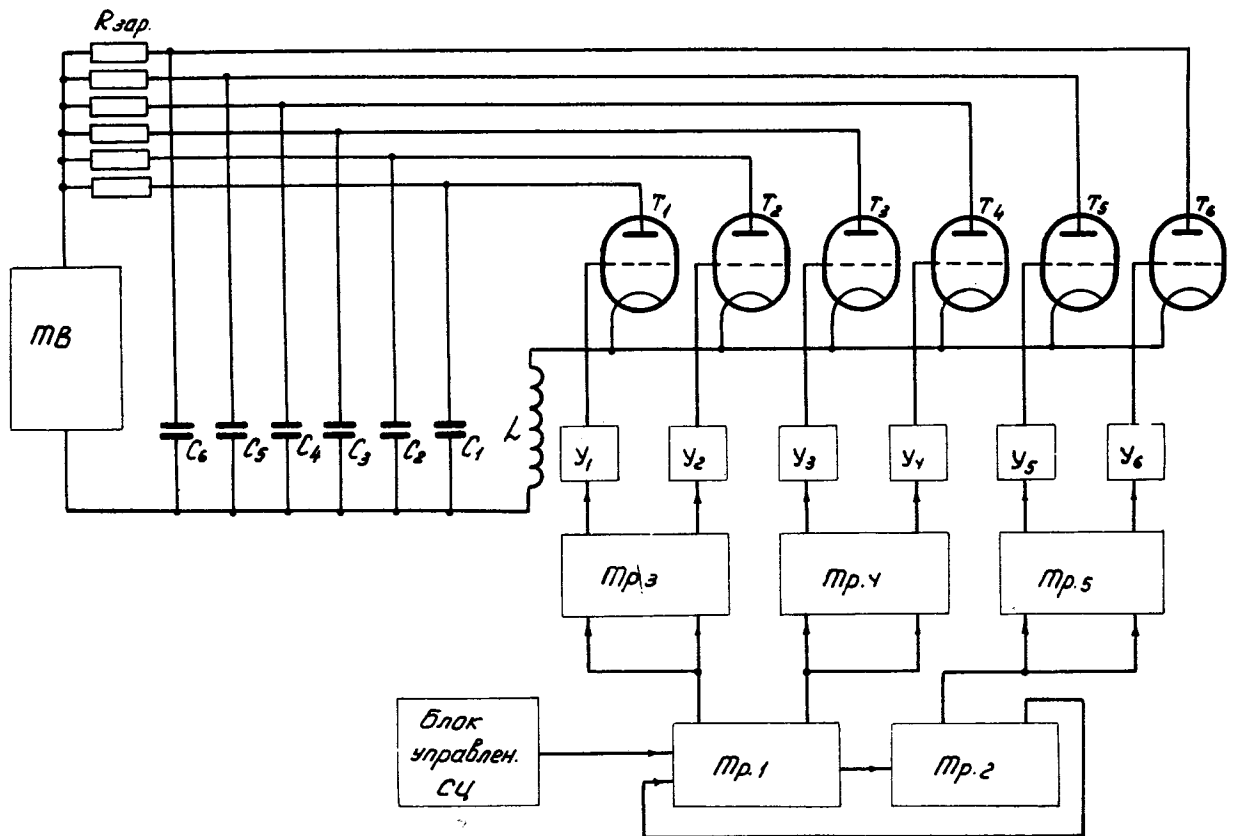


Рис. 3. Схема питания и управления катушек растяжки.
 ТВ - тиратронный выпрямитель, Тр - триггер, У - усилитель, Т - тиратрон, С - конденсатор, R зар - зарядное сопротивление.

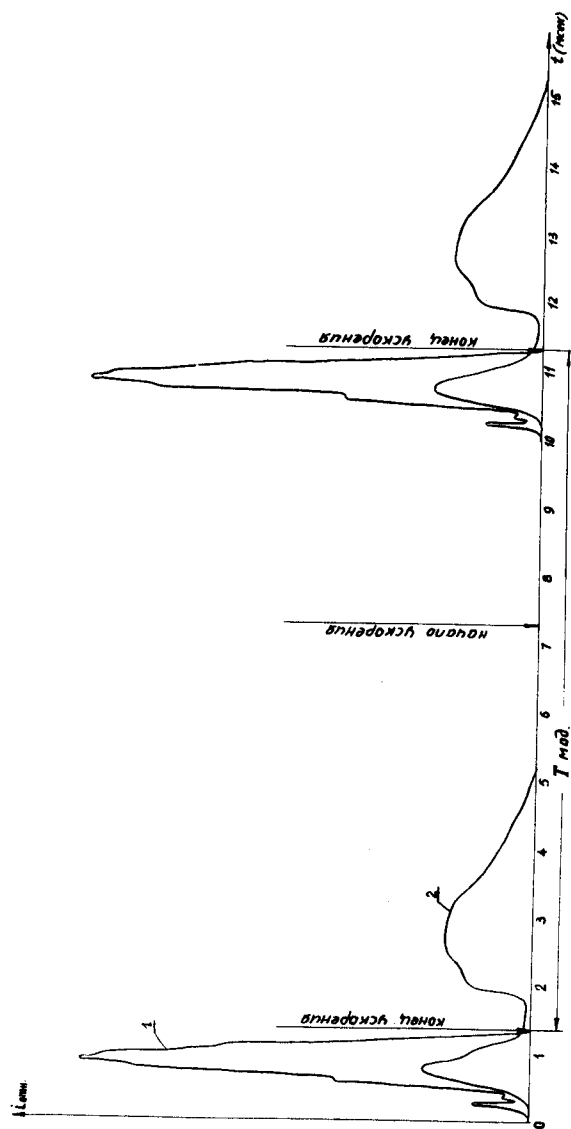


Рис. 4. Формы импульсов пучков синхроциклотрона ОИЯИ:
 1) обычный режим, 2) режим растяжки пучка.

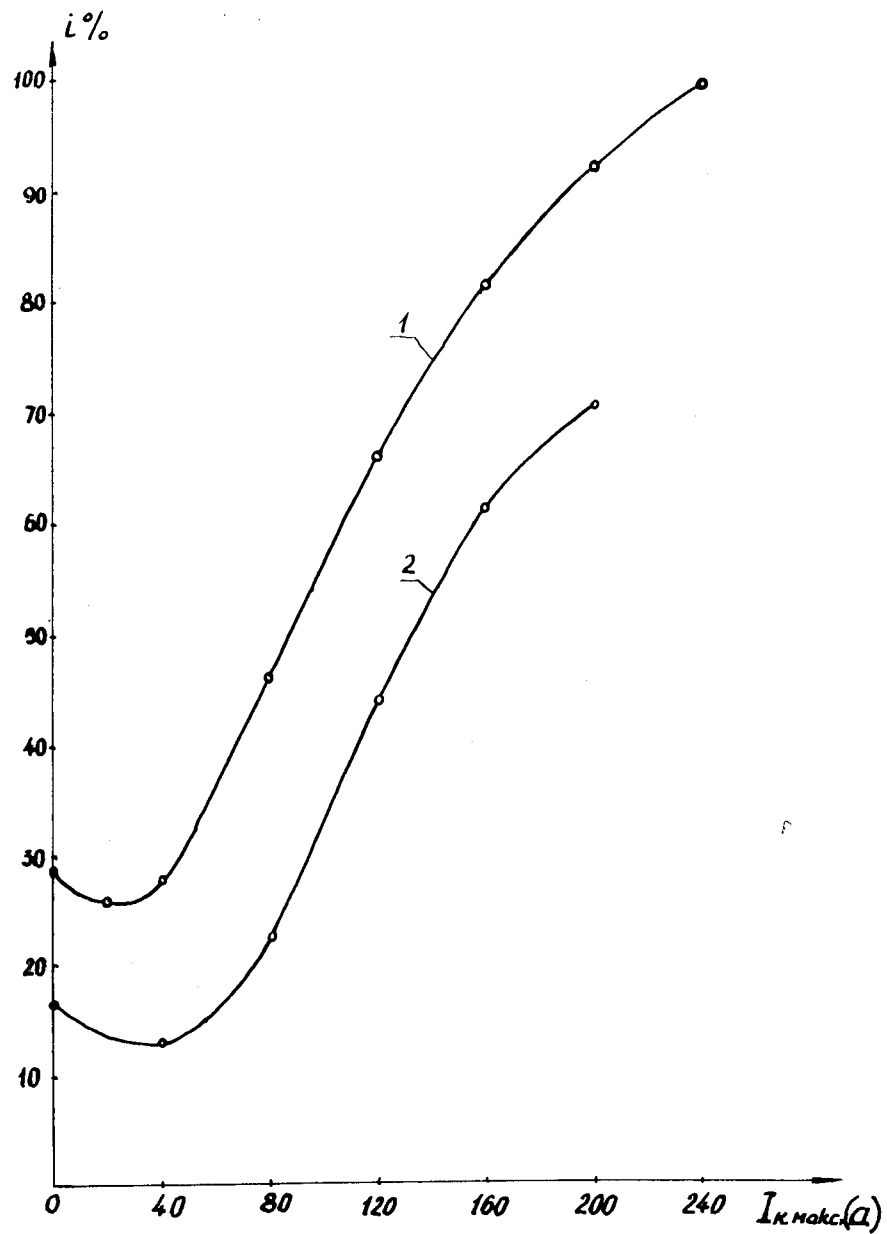


Рис. 5. Зависимость интенсивности растянутого пучка от тока катушек.
 1) частота модуляции 80 гц, 2) частота модуляции 100 гц.