

Безногих Ю.Д. и др.  
Б1-9-8374.

+

✓

С 345 в

Б-399



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

65/75

Б1-9-8374

ДЕПОНИРОВАННАЯ ПУБЛИКАЦИЯ

Дубна 19 74

ОБЪЕДИНЁННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Лаборатория высоких энергий

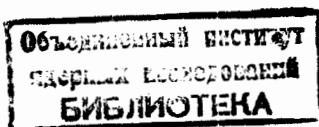
Б1-9-8374

Безногих Ю.Д., Боков Г.А., Воеводин М.А., Заболотин В.П.,  
Зиновьев Л.П., Исаев А.С., Иссинский И.Б., Карпов И.И.,  
Кулакова Е.М., Михайлов В.А., Мончинский В.И., Перфеев В.Н.  
Попов В.А., Семенюшкин И.Н., Федуков С.В., Черников В.И.,  
Чехлов К.В., Яловой И.Н.

НЕКОТОРЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИНХРОФАЗОТРОНА ОИЯИ

( I квартал 1974 г.)

11 ноября 74



Дубна, 1974 г.

## СОДЕРЖАНИЕ

	стр
1. Введение.....	2
2. Результаты измерения распределения магнитного поля синхрофазотрона по азимуту при индукции в зазоре 160 гс.....	3
3. Исследование динамики пучка в синхрофазотроне	4
4. Подготовка инжектора ЛУ-20 к согласованию с кольцом синхрофазотрона.....	6
5. Система синхронизации.....	7
6. Геодезические измерения.....	7
7. Расчёт влияния деформаций магнита на вертикальный размер пучка в ускорителе.....	8

## I. Введение.

В I квартале на синхрофазотроне ускорялись протоны и ядра He. Средняя интенсивность ускоренных протонов составила  $4,7 \times 10^{10}$  частиц в цикле, ядер He -  $10^5$  частиц в цикле.

Было запланировано 1122 часа работы ускорителя. Из них на эксперимент было использовано 975 часов, на дальнейшее изучение ускорителя - 382 часа (т.н. совершенствование систем ускорителя). Эти часы, в основном, распределились между следующими работами.

В январе было проведено измерение распределения магнитного поля по кольцу ускорителя на радиусе  $R_0$  и  $R_0 \pm 60$  см каждого полюса при поле инжекции  $B_0 = 160$  гс.

Проведен цикл исследований динамики пучка в квазибетатронном и синхротронном режимах ускорения.

На новом инжекторе с энергией протонов 20 Мэв (ДУ-20) были завершены все работы по подготовке к началу его согласования с кольцом синхрофазотрона, запланированным на 2 квартал 1974 года.

Для дальнейшего изучения синхротронного режима: повышения точности при измерениях с инжектируемым пучком длительностью менее I оборота (короткая инжекция) /I/, разработана система синхронизации фазы ускоряющего и инжектируемого пучка.

Продолжались работы по определению высотного положения магнита синхрофазотрона геодезическими методами, которые проводятся каждый сезон, начиная с весны 1972г.

В связи с тем, что деформации магнита синхрофазотрона значительно отличаются от проектных, производятся расчеты движения частиц циркулирующего пучка с учетом влияния деформаций и искажения показателя поля магнита.

## 2. Результаты измерения распределения магнитного поля синхротрона по азимуту при индукции 160 гс.

В январе 1974 г. было проведено измерение распределения магнитного поля по кольцу ускорителя при поле инжекции (160 гс) на радиусах  $R_0$  и  $R_0 \pm 60$  см каждого полюса. Измерения проводились с помощью двух катушек, одна из которых была неподвижной и баллистического гальванометра. Катушки имели длину, равную ширине полюса. Целью измерений было выяснить наличие искажений в магнитном поле из-за наличия контуров токов, охватывающих магнитопровод.

Это вызвано тем, что в июне 1973 г. было зарегистрировано наличие значительных контуров токов на I и IV квадрантах, искажающих поле. Чтобы получить наибольший уровень интенсивности, пришлось достаточно сильно изменить величину тока в обмотках коррекции азимутальной асимметрии поля.

Результаты измерений показали, что действительно имеются локальные искажения магнитного поля по азимуту на полюсах 34-48 в I-ом и IV-ом квадрантах. На указанных полюсах I-го квадранта магнитное поле на 0,6% меньше усредненного магнитного поля на первых 33-х полюсах, а на таких же полюсах IV-го квадранта - меньше на 0,4%. Амплитуда искажения первой гармоники орбиты пучка по радиусу от действия этих двух локальных искажений составляет 6 см. Менее опасные локальные искажения, которые также подлежат коррекции, находятся на полюсах 10-12 и 29-32 в II квадранте и полюсах 9-14 в III-ем квадранте. Усредненные значения распределения магнитного поля по квадрантам приведены на Рис. 1, а на Рис. 2 приведены величины искажений магнитного поля на полюсах 34-48 в I-ом и IV-ом квадрантах и форма искаженной орбиты.

### 3. Исследование динамики пучка в синхрофазотроне.

Необходимость дальнейшего изучения режимов работы синхрофазотрона продолжала оставаться и после запуска инжектора ЛУ-9М. Он позволил увеличить на порядок интенсивность пучка, циркулирующего в квазибетатронном режиме, но конечная интенсивность осталась, практически, такой же, как и при работе инжектора ЛУ-9. И если сравнить характеристики синхрофазотрона и ускорителя такого же класса "Нимрод" /9/, то можно увидеть, что с количественной стороны режим инъекции и квазибетатронный примерно одинаковы. Резкое количественное различие появляется в синхротронном режиме ускорения: на первом этапе формирования сгустка (I - 3мсек) и на последующем этапе ускорения до конечной энергии.

Таблица потерь.

Число прот-ов	Синхрофазотрон ОИЯИ	"Нимрод" (оптимальный режим до ограничения пространств. зарядом)
$N_{инж.}$	$1,5 \times 10^{13}$ прот/имп.	$2,0 \times 10^{13}$ прот/имп.
$N_{\beta}$	$6,0 \times 10^{12}$ "	$6,0 \times 10^{12}$ "
$N_{3мсек}$	$3,0 \times 10^{11}$ "	$2,0 \times 10^{12}$ "
$N_{конечн.}$	$8,0 \times 10^{10}$ "	$1,5 \times 10^{12}$ "

Результаты исследований квазибетатронного и синхротронного режима ускорения в синхрофазотроне ОИЯИ позволили сделать в некоторых случаях и количественные выводы о процессах, происходящих в камере ускорителя. Была разработана новая методика оценки положения центра тяжести пучка в различные временные моменты с помощью секционированных "шторок", которые в этих измерениях выполняли роль дискретных в радиальном направлении индукционных электродов. Была разработана специальная аппаратура для измерения потерь частиц в камере ускорителя по четырём направлениям. Была разработана система короткой инъекции, которая значительно облегчила исследование динамики пучка в ускорителе.

I. Выводы из исследования динамики пучка в квазибетатронном режиме:

а) настройкой инжекционного комплекса ЛУ-9М можно получить инжектируемый пучок с полным энергетическим разбросом  $0,1 - 0,2\%$ ;

б) режим циркуляции пучка во времени хорошо согласуется с рабочими геометрическими размерами камеры в радиальном направлении, что в первом приближении указывает на достаточно хорошее качество ведущего магнитного поля;

в) при хорошей настройке инжектора, т.е. хорошем согласовании пучка по поперечным и продольным координатам в соответствии с аксептансом кольца, легко получается режим циркуляции с числом частиц в квазибетатронном режиме порядка  $(4-8) \times 10^{12}$  прот./имп.;

г) сравнение качественных и количественных характеристик инжектируемого пучка ЛУ-9М с соответствующими характеристиками инжекторов "Беватрона" и "Нимрода" говорит о том, что при прочих одинаковых характеристиках кольца синхрофазотрона уже сейчас возможно получение к концу цикла ускорения предельного числа частиц по пространственному заряду  $\sim \sqrt{N} \times 10^{12}$  прот./имп. ( для энергии инжекции 10 Мев).

2. Изучение динамики пучка в синхротронном режиме показало:

а) основные потери пучка, циркулирующего в квазибетатронном режиме, происходят в первый период радиально-фазовых колебаний частиц после включения ускоряющего в.ч. поля ( 1,5 мсек), число потерянных частиц за этот период времени в 5 - 6 раз превосходит нормальные потери, которые следуют из теории и сравнительных данных по ускорителям "Беватрон" и "Нимрод";

б) измерение баланса потерь по вертикали и горизонтали показало, что основные потери пучка идут на внутреннюю стенку камеры, на внешнюю стенку они отсутствуют, а суммарные потери по вертикали примерно на порядок меньше потерь по радиусу;

в) исследование зависимости темпа потерь в кольце ускорителя от амплитуд свободных колебаний инжектируемых частиц обнаружело, что синхрофазотрон плохо "усваивает" частицы, амплитуды которых отличны от "нулевых", предельной амплитудой является  $A=30$  см;

г) наличие сложной медианной поверхности кольца ускорителя (в результате вертикальной просадки квадрантов и радиальных искажений) приводит к связи  $\zeta$  и  $z$  - движений, которая, очевидно, может привести ко всякого рода ненормальным явлениям в синхротронном режиме ускорения.

#### 4. Подготовка инжектора ЛУ - 20 к согласованию с кольцом синхрофазотрона.

На инжекционном комплексе ЛУ-20 проводилась наладка узлов и доведение режимов их работы до эксплуатационных. Большие трудности пришлось преодолеть при доведении до номинальной мощности в.ч. источника питания резонатора ЛУ, борьбе с паразитной девиацией СВЧ. Впервые появились сложности в получении ламп большой мощности оконечного каскада генератора. При получении тока после ЛУ с самого начала было много трудностей из-за неустойчивой работы форинжектора. Именно по этой причине на выходе ЛУ-20 не был получен ток более 10 ма.



### 3. Система синхронизации

В радиотехническом отделе разработана и опробована система синхронизации фазы ускоряющего напряжения с инжектируемым пучком в режиме короткой инъекции.

С помощью такой системы предполагается получить экспериментальные данные о динамике движения частиц в синхротронном режиме, а также произвести измерения некоторых параметров магнитного поля при ускорении на первых 100 мсек. Разработанная система формирует импульс, жестко привязанный к фазе ускоряющего напряжения, с помощью которого производится запуск системы короткой инъекции на ЛУ. В схеме предусматривается плавная задержка импульса относительно фазы высокой частоты в пределах времени одного оборота. Такая задержка необходима для компенсации возможных запаздываний в тракте подачи импульса из 2-го в 1-ый корпус, а также задержек в схеме, формирующей короткую инъекцию. Эти задержки постоянны и достаточно стабильны во времени.

Переменной величиной, которая может привести к нарушению синхронизации является магнитное поле. Наибольший вклад вносит изменение скорости нарастания магнитного поля ускорителя, однако предварительный расчет и кратковременное испытание схемы показывают, что нарушение синхронизации происходит в малых пределах (3-5%). Таким образом, если амплитуду ускоряющего поля повысить на 10%, то указанная нестабильность на результаты измерений не скажется. Блок-схема системы синхронизации приведена на Рис. 3.

### 4. Геодезические измерения

В первом квартале 1974 года был выполнен цикл высокоточных измерений по сети из 52 геодезических реперов , закрепленных на

ций и искажения показателя поля, имеющих место в магните ускорителя.

Согласно требованиям проекта допуск на разность высотного положения квадрантов магнита синхрофазотрона должен составлять  $\pm 2$  мм /2,6/. Однако к 1972 г. деформация фундамента достигла 25-28 мм /1/. Наружные края квадрантов опущены больше, чем внутренние и эта разницы достигает по разным измерениям до 1,5 мм /1/.

Неточность положения квадрантов ускорителя по высоте двояким образом влияет на движение частиц: 1) вызывает искажение вертикальных орбит; 2) приводит к возникновению связи между радиальным и вертикальным движением частиц, что может стать причиной резонансов связи бетатронных колебаний. Наиболее опасна 1-ая гармоника перекоса магнита по радиусу, поскольку в данном случае ее амплитуда 1 мм (угол перекоса 0.625 мрад) при прочих равных условиях искажает орбиту на  $\pm 125$  мм. Первая гармоника параллельного смещения квадрантов магнита с амплитудой 2 мм вызывает искажение орбиты всего на 9 мм. Кроме того, перекос магнита по радиусу приводит к появлению целого класса резонансов связи /7/. Вблизи рабочей точки ускорителя (Рис.4) есть два таких резонанса:  $3\nu_x - \nu_z = 1$  и  $3\nu_z - \nu_x = 2$ , где  $\nu_x$  и  $\nu_z$  - частоты радиальных и вертикальных бетатронных колебаний. Эти резонансы исследовались с целью выяснения возможного механизма потерь частиц. Расчеты, выполненные на ЭВМ с учетом деформаций магнита и зависимости  $n(x)$ , показали увеличение вертикального размера пучка, превышающее апертуру камеры /8/. Изменение показателя поля ускорителя с целью ухода от указанных резонансов ограничено сверху близостью резонанса  $3\nu_x = 2\nu_z$  ( $n_{рез} = 0,692$ ), резонанса  $2\nu_x + 2\nu_z = 3$

( $n_{рез} = 0.73$ ). Уменьшение показателя поля ограничено резонансами  $3\nu_x = 2$  и  $2\nu_z - \nu_x = 1$ .

Существующие искажения в магнитном поле синхрофазотрона, приводящие к вышеуказанным резонансам, в принципе могут быть скомпенсированы с помощью соответствующих систем коррекций.

Однако более приемлемым представляется устранение большинства существующих искажений в магнитном поле синхрофазотрона путем юстировки магнита и доведение его геометрических параметров до величин, определяемых соответствующими допусками.

## Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Ю.Д.Безногих и др. Некоторые характеристики синхрофазотрона ОИЯИ ( I, II кварталы 1972 г.). Депонированное сообщение ОИЯИ, Б2-9-7208, Дубна, 1972 г.
2. А.Н.Комаровский. Строительные конструкции ускорителей. Москва, 1961 г.
3. Дж.Блюэт, М.Блюэтт, Г.Грин, В.Мур, Л.Смит. Проблемы современной физики. т.ХI, Москва, 1954 г.
4. E.Corkand, E.J.Lofgren, Bevatron Operation and development. II UCRL - 2692, September 13, 1954.
5. P.Bowles at <sup>N</sup>Международная конференция по уск. Дубна, 1963 г.
6. Е.Г.Комар. Ускорители заряженных частиц. Москва, 1964 г.
7. L.Y.Laslett and W.P.Perkins. Nucl. Instr, and Meth. 97 (1971) 523-538.
8. Б.В.Василишин и др. Депонированное сообщение ОИЯИ. Б1-9-8031. Дубна, 1974 г.
9. Труды первого совещания по ускорителям 1968 г. Атомиздат., Москва, 1970 г.

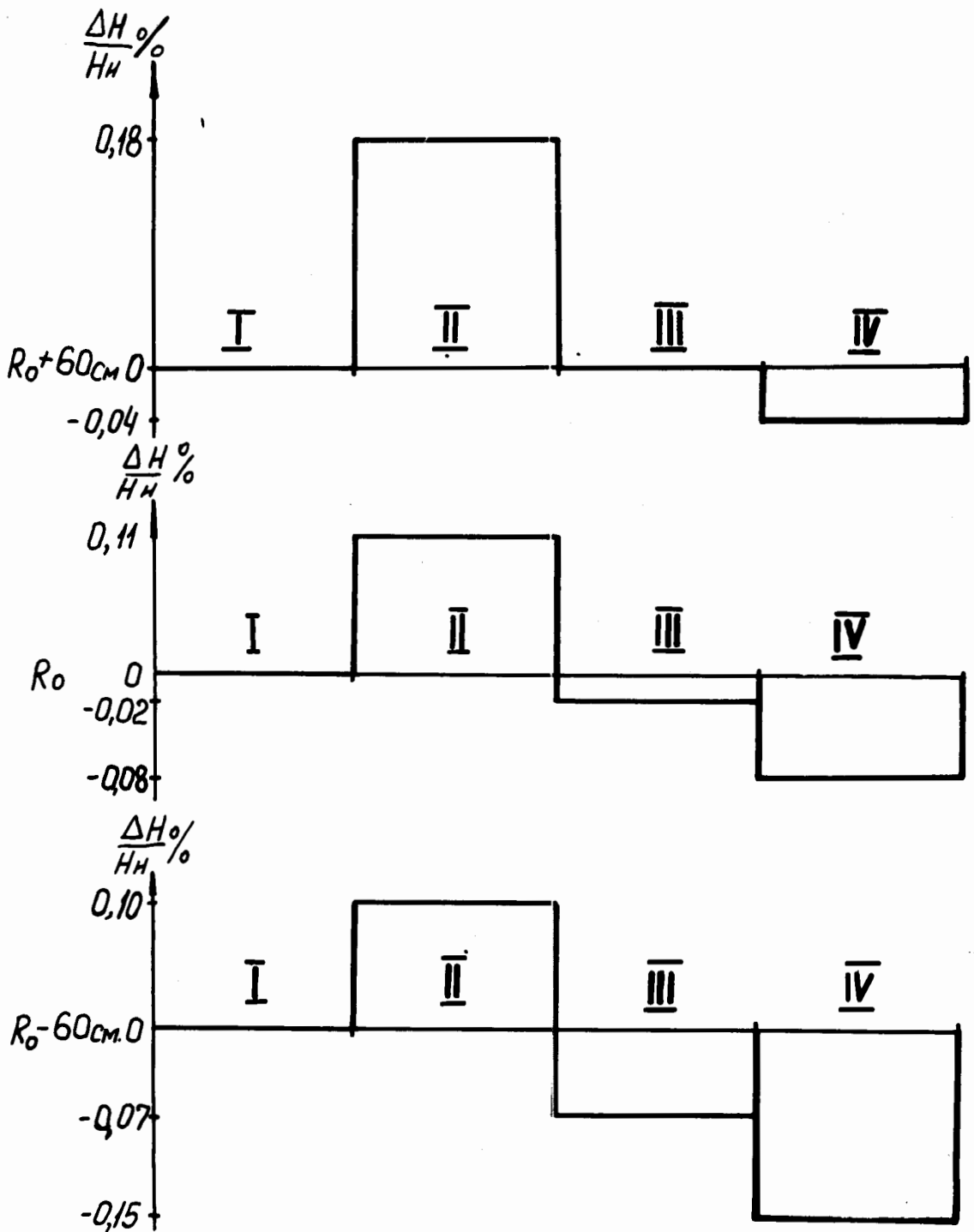


Рис. I. Распределение усреднённого значения магнитного поля по квадрантам при  $B_{\text{инж.}} = 160 \text{ гс.}$

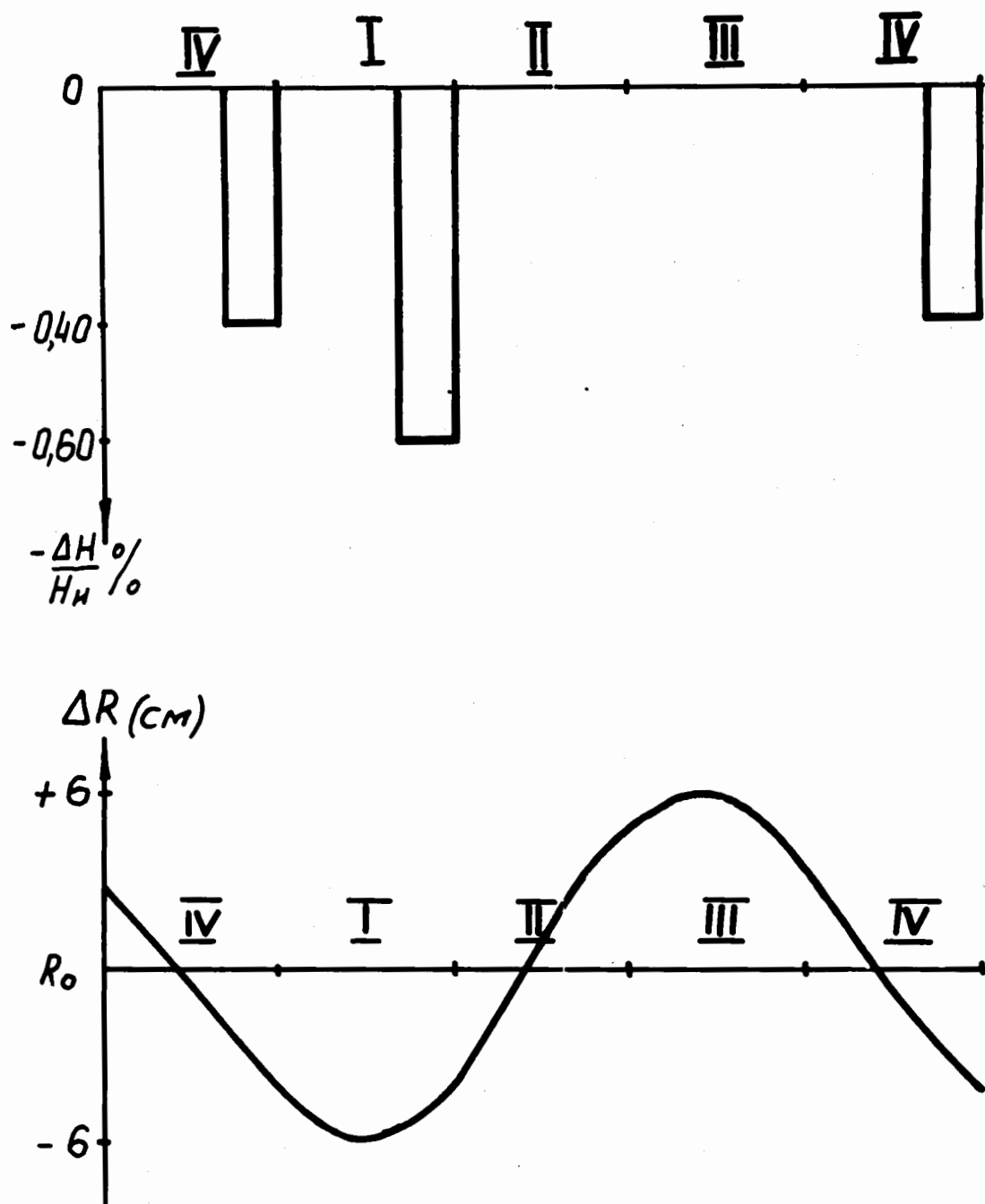


Рис.2. Искажения магнитного поля на полюсах 34 + 48 в I и II квадрантах при  $V_{инж.} = 160$  гс. и их влияние на орбиту пучка по радиусу.

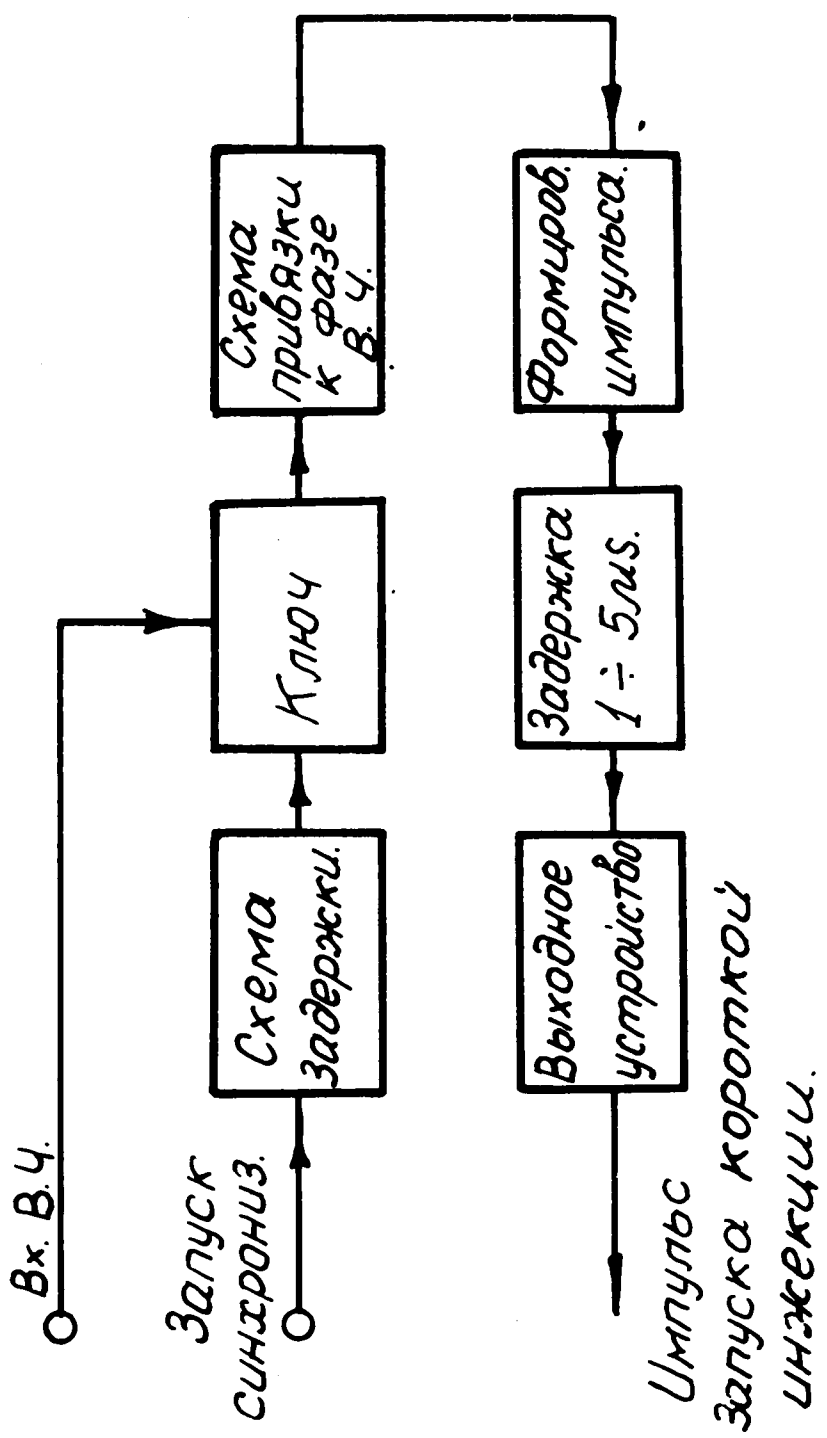


Рис. 3. Блок - схема синхронизатора.

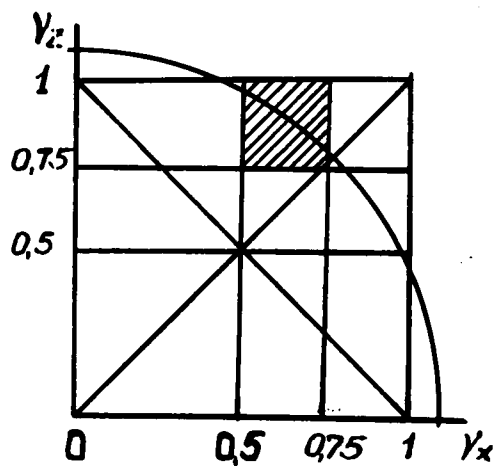
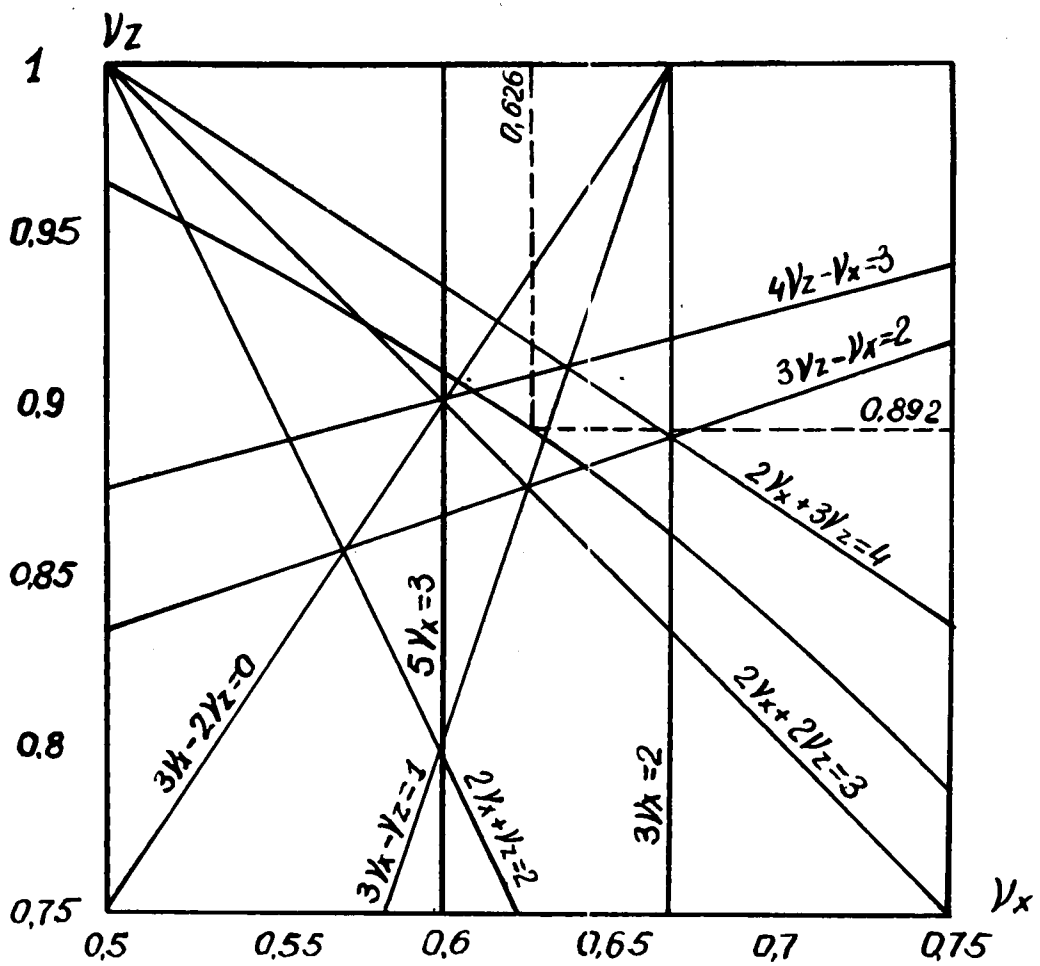


Рис.4. Диаграмма резонансов.