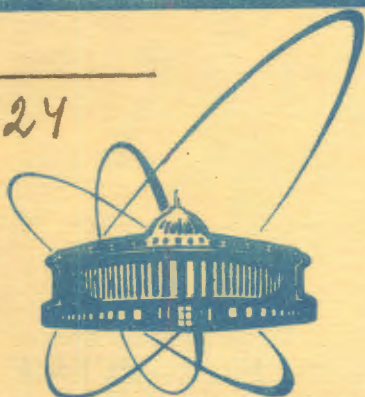


Г-524



сообщения  
объединенного  
института  
ядерных  
исследований  
дубна

5351 / 2-79

24/12-79

P9 - 12620

А.А.Глазов, В.И.Данилов, Б.Н.Марченко,  
Л.М.Онищенко, А.Н.Сафонов, В.И.Смирнов,  
Т.Н.Томилина

КОРРЕКЦИЯ

АМПЛИТУДНО-ЧАСТОТНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ

В.Ч. ГЕНЕРАТОРА СИНХРОЦИКЛОТРОНА

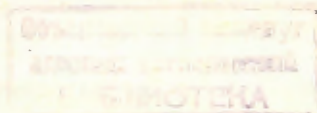
ПРИ ПОМОЩИ АНОДНОГО МОДУЛЯТОРА

1979

P9 - 12620

А.А.Глазов, В.И.Данилов, Б.Н.Марченко,  
Л.М.Онищенко, А.Н.Сафонов, В.И.Смирнов,  
Т.Н.Томилина

КОРРЕКЦИЯ  
АМПЛИТУДНО-ЧАСТОТНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ  
В.Ч. ГЕНЕРАТОРА СИНХРОЦИКЛОТРОНА  
ПРИ ПОМОЩИ АНОДНОГО МОДУЛЯТОРА



Глазов А.А. и др.

P9 - 12620

Коррекция амплитудно-частотной характеристики в.ч. генератора синхроциклотрона при помощи анодного модулятора

Для коррекции амплитудно-частотной характеристики синхроциклотрона ОИЯИ использовался анодный модулятор, разработанный в НИИЭФА.

Формирование при помощи анодного модулятора расчетной амплитудно-частотной характеристики позволяет уменьшить на 20% мощность, потребляемую в.ч. системой при том же уровне интенсивности.

Если уровень потребляемой мощности оставить таким же, как в обычном режиме работы, то использование модулятора дает возможность увеличить интенсивность на 40%.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1979

Glasov A.A. et al.

P9 - 12620

Dee Voltage-Time Dependence Correction of the JINR Synchrocyclotron by means of an Anode Modulator

The anode modulator, designed by SRIEPA, was used for the dee-voltage time dependence correction of the JINR synchrocyclotron. Forming the calculated dee voltage-time dependence by the anode modulator allows one to decrease by 20% the r.f. power with the same level of the beam intensity. At the same time it is possible to increase with the anode by 40% the beam intensity with the routine level of r.f. power.

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Problems, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1979

## ВВЕДЕНИЕ

Амплитудно-частотная характеристика /АЧХ/ в.ч. системы синхроциклотрона на 680 МэВ обладает значительной неравномерностью по диапазону. Имеющее место резкое понижение амплитуды /"провал"/ ускоряющего напряжения на частоте 15,4 МГц приводит к уменьшению интенсивности из-за фазовых потерь<sup>1/</sup>.

Коррекция АЧХ может быть частично осуществлена сеточной модуляцией<sup>2/</sup> генератора высокой частоты /ГВЧ/, а также тщательной настройкой резонансной системы<sup>1/</sup>. Однако наиболее эффективна анодная модуляция, так как она позволяет увеличить амплитуду ускоряющего напряжения на провалах в АЧХ и уменьшить амплитуду на участках, где она превышает величину, необходимую для ускорения частиц без фазовых потерь.

В данной работе приводятся результаты исследований, проведенных на синхроциклотроне с анодным модулятором, разработанным для установки "Ф"<sup>3/</sup>. При формировании АЧХ с помощью анодного модулятора были использованы расчеты амплитудной характеристики без фазовых потерь по данным измерений при работе в.ч.генератора с манипулятором<sup>4/</sup>.

Программа быстродействующего модулятора набирается из двадцати дискретных прямоугольных импульсов, с независимой регулировкой амплитуды каждого из них. Длительность каждого импульса равна 1/20 рабочей части диапазона ГВЧ независимо от частоты модуляции.

В схеме управления модулятором предусмотрена возможность быстро обнаружить участки АЧХ с излишне большими или недостаточными амплитудами при помощи перемещения строб-импульса, полярность, амплитуда и длительность которого могут изменяться в нужных пределах.

Методика нескольких вариантов коррекции АЧХ синхроциклотрона ОИЯИ при помощи анодного модулятора описана ниже.



## § 1. УСТРАНЕНИЕ "ПРОВАЛОВ" В АМПЛИТУДНО-ЧАСТОТНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКЕ

Перед началом исследования работы синхроциклотрона с анодным модулятором была определена зависимость интенсивности внутреннего пучка от ускоряющего напряжения на захвате. Результаты измерений и соответствующие режимы генератора с манипулятором приведены в таблице.

Таблица режимов работы синхроциклотрона с манипулятором

|                     |      |      |      |      |      |
|---------------------|------|------|------|------|------|
| $E_a/\text{кВ}/$    | 5,5  | 6,0  | 6,5  | 7,0  | 7,5  |
| $U_{до}/\text{кВ}/$ | 13,5 | 15,0 | 16,5 | 17,5 | 19,5 |
| $I_k/\text{А}/$     | 7,2  | 8,4  | 9,1  | 10,2 | 11,0 |
| $I_c/\text{А}/$     | 1,7  | 1,9  | 2,1  | 2,4  | 2,5  |
| $\alpha_{кнб}/\phi$ | 71   | 90   | 114  | 136  | 155  |
| $\alpha_{кн}$       | 76   | 107  | 144  | 200  | 220  |

Вначале программа управления модулятором была сформирована в виде прямоугольного импульса, длительность которого по времени равна рабочей части периода модуляции /рис.1/. Амплитуда ускоряющего напряжения на дуанте была установлена равной 15,0 кВ, что соответствует следующему режиму генератора при работе с манипулятором: анодное напряжение  $E_a = 6,0$  кВ; ток катода  $I_k = 7,2$  В; ток сетки  $I_c = 1,37$  А.

Такая программа управления модулятором была выбрана для проверки идентичности амплитудных характеристик в.ч. системы с манипулятором и с модулятором.

Интенсивность, регистрируемая камерой "кн"/1/, в этом случае равна интенсивности при работе с манипулятором  $\alpha_{кн} = 90/107^*$ . На частоте 15,4 МГц в обоих случаях наблюдался

\* Верхняя цифра в выражении  $\alpha_{кн}$  соответствует величине интенсивности без подачи напряжения на фокусирующее устройство /5/.

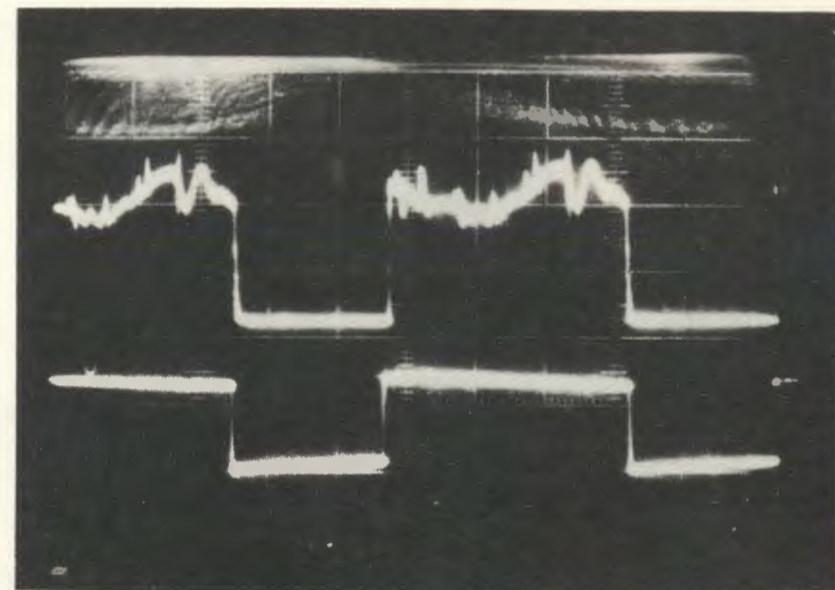


Рис.1. Обгибающая ускоряющего напряжения на дуанте /вверху/, масштаб по горизонтали 1 клетка = 1 мс, по вертикали 1 клетка = 5 кВ; управляющий импульс на входе модулятора /внизу/.

"провал" в амплитуде на дуанте до 11,5 кВ, временная протяженность провала 300-400 мкс.

Для заполнения "провала" в амплитуде ускоряющего напряжения на частоте 15,4 МГц до уровня 14,0 кВ /рис.2/ прямоугольная форма управляющего импульса была видоизменена при помощи программы управления модулятором. При этом токи генератора стали  $I_k = 8,6$  А,  $I_c = 1,65$  А, а интенсивность повысилась до  $\alpha_{кн} = 124/151$ .

## § 2. ФОРМИРОВАНИЕ РАСЧЕТНОЙ АЧХ

Дальнейшая работа по формированию АЧХ производилась на основе результатов расчета амплитудной характеристики, обеспечивающей ускорение пучка без фазовых потерь при минимальной потребляемой высокочастотной мощности.



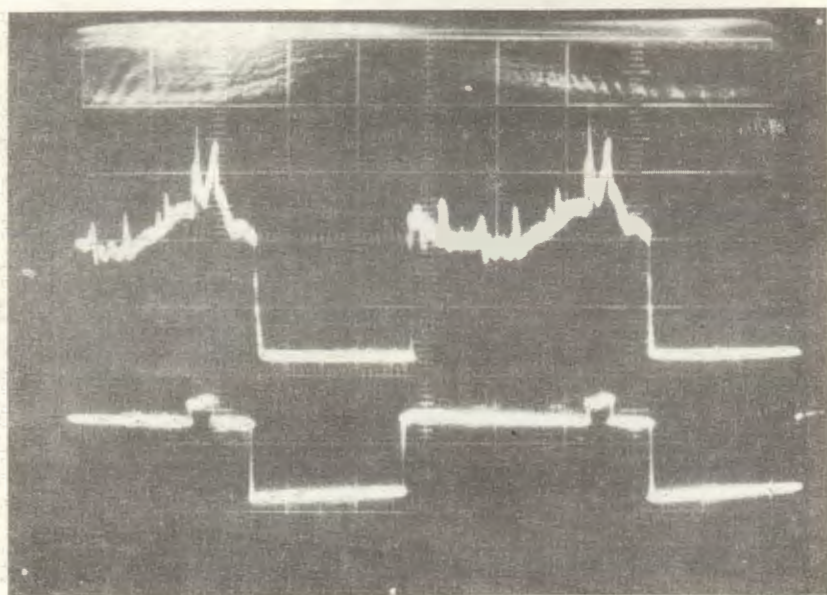


Рис.2. Огибающая ускоряющего напряжения и управляющий импульс после компенсации "провала" в АЧХ.

Методика формирования характеристик была следующей: по заданному значению амплитуды  $U_{\partial 0}$  на частоте захвата, расчетные значения амплитуды  $U_{\partial \text{ расч}}(t)$  для всего диапазона частот в соответствующем масштабе наносились на прозрачную пленку, которая помещалась перед экраном осциллографа. На вход осциллографа подавалась огибающая высокочастотного сигнала с дуанта, амплитуда которого корректировалась при помощи схемы управления анодным модулятором. Формирование характеристики осуществлялось при помощи двадцати импульсов, на которые разбита рабочая часть периода модуляции. Подбор ускоряющего напряжения на каждом участке производился так, чтобы интенсивность оставалась той же самой, что и при работе с манипулятором.

На рис.3 сплошной линией показана зависимость  $U_{\partial}(t)$  при работе генератора с манипулятором для  $E_a = 6,0$  кВ. Ломаная линия изображает расчетные амплитуды  $U_{\partial \text{ расч}}(t)$ , достаточные для ускорения частиц без фазовых потерь. Кру-

жочками на том же графике показаны амплитуды, которые требовалось поддерживать на дуанте при работе с модулятором для того, чтобы интенсивность не уменьшилась. Из графика видно, что требуемые амплитуды в пределах 10% совпадают с расчетными во всем интервале ускорения.

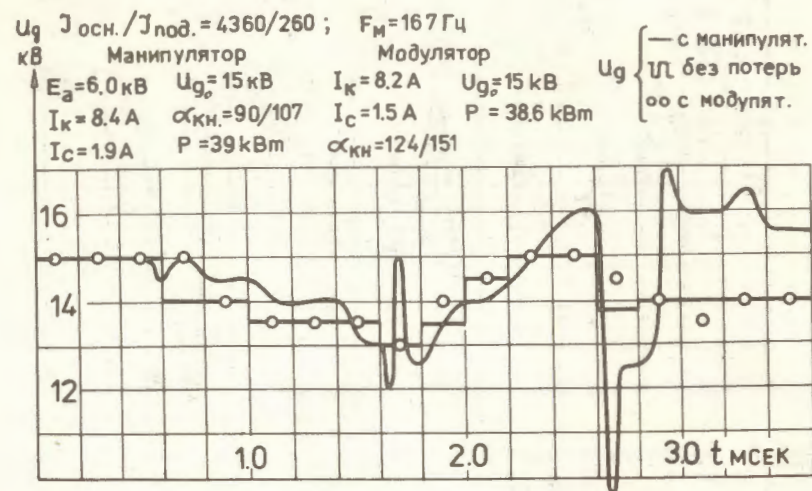


Рис.3. Амплитудно-частотные характеристики синхроциклотрона при  $U_{\partial 0} = 15,0$  кВ.

### § 3. ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Коррекция АЧХ для разных  $U_{\partial 0}$  на захвате производилась при помощи методики, описанной в § 2.

Вначале на захвате была установлена амплитуда  $U_{\partial 0} = 16,5$  кВ, что соответствует следующему режиму генератора при работе с манипулятором:  $E_a = 6,5$  кВ,  $I_a = 9,1$  А,  $I_C = 2,1$  А,  $P = 45,5$  кВт,  $\alpha_{\text{КН}} = 114/144$ .

На рис.4 приведены результаты формирования АЧХ для этого случая. Как и при  $U_{\partial 0} = 15$  кВ /рис.3/ требуемые амплитуды близки к расчетным, мощность генератора немного уменьшилась



$I_k = 8,4 \text{ A}$ ,  $I_c = 1,55 \text{ A}$ ,  $P = 40,1 \text{ кВт}$ , а интенсивность несколько возросла ( $\alpha_{KH} = 122/156$ ).

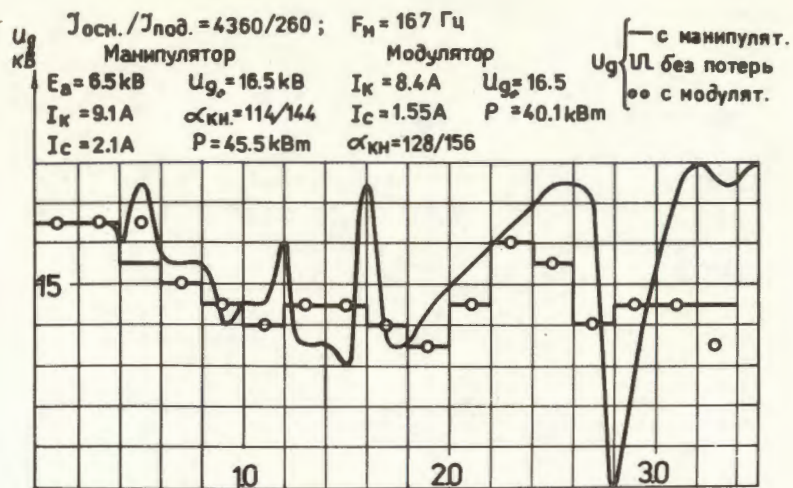


Рис.4. Амплитудно-частотные характеристики синхроциклотрона при  $U_{\partial_0} = 16,5 \text{ кВ}$ .

Далее был исследован режим с амплитудой ускоряющего напряжения на захвате  $U_{\partial_0} = 17,5 \text{ кВ}$ , что соответствует следующим параметрам генератора при работе с манипулятором:  $E_a = 7,0 \text{ кВ}$ ,  $I_k = 10,2 \text{ A}$ ,  $I_c = 2,4 \text{ A}$ ,  $P = 56,6 \text{ кВт}$ ,  $\alpha_{KH} = 136/200$ .

В этом эксперименте после того, как при работе генератора с модулятором была получена интенсивность  $\alpha_{KH} = 139$  без фокусирующего напряжения, на частотах захвата была поднята амплитуда ускоряющего напряжения до  $U_{\partial_0} = 22,5 \text{ кВ}$  при токах  $I_k = 10,4 \text{ A}$ ,  $I_c = 2,05 \text{ A}$  при потребляемой мощности  $P = 52,5 \text{ кВт}$ .

Таким образом, был получен режим генератора, по мощности близкий к режиму работы с манипулятором, причем интенсивность увеличилась до значения  $\alpha_{KH} = 172/252$ , вместо  $\alpha_{KH} = 136-200$  /рис.5/.

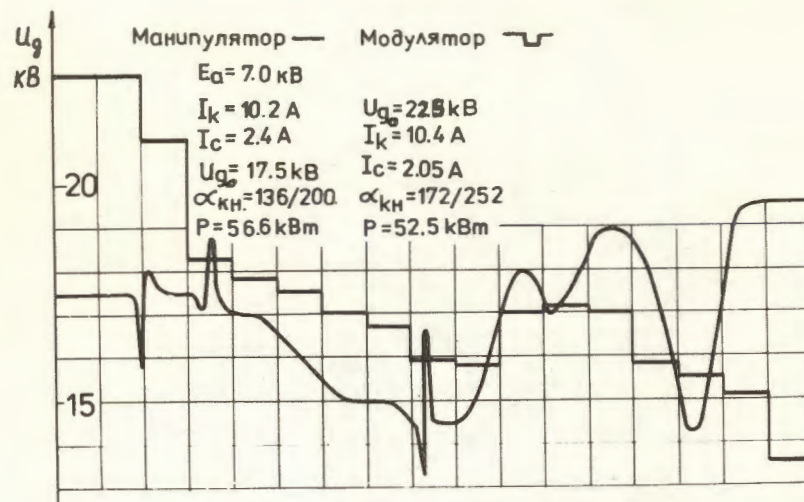


Рис.5. Амплитудно-частотные характеристики с увеличенным напряжением на захвате.

Полученные в этом эксперименте зависимости  $U_{\partial_0}(t)$  в режимах работы генератора с модулятором и манипулятором представлены на рис.5. Сравнение зависимостей  $U_{\partial_0}(t)$  и режимов генератора показывает, что хотя напряжение с модулятором в начале ускорения существенно выше, потребляемая мощность даже меньше, чем при работе с манипулятором. Это объясняется перераспределением амплитуд в.ч. напряжения на дуанте в соответствии с затуханием фазовых колебаний в процессе ускорения.

В результате исследования коррекция АЧХ при различных амплитудах ускоряющего напряжения на захвате была получена изображенная на рис.6 зависимость  $\alpha_{KH}$  от потребляемой мощности  $P$  при работе генератора с модулятором. Для сравнения на том же рисунке приведена зависимость  $\alpha_{KH}(P)$  при работе генератора с манипулятором. Из сравнения кривых видно, что интенсивность в рабочем режиме  $\alpha_{KH} = 144$  можно получить с модулятором при мощности, примерно на 20% меньшей, чем с манипулятором, или при той же потребляемой мощности /примерно 45,5 кВт/ с модулятором можно получить интенсивность на 40% больше.

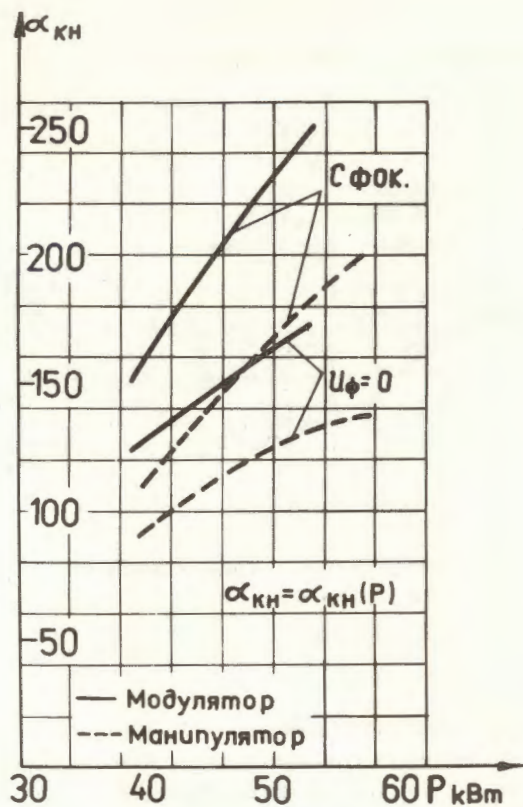


Рис.6. Зависимость интенсивности от потребляемой мощности.

Результаты измерений интенсивности в зависимости от амплитуды ускоряющего напряжения на захвате  $\alpha_{KH}(U_{\partial_0})$  для двух значений магнитного поля представлены на рис.7. Из графиков видно, что то же значение интенсивности может быть получено при меньшей амплитуде ускоряющего напряжения, если работать на более высоком магнитном поле, так как при этом понижается производная на захвате и увеличивается время захвата частиц <sup>1/</sup>.

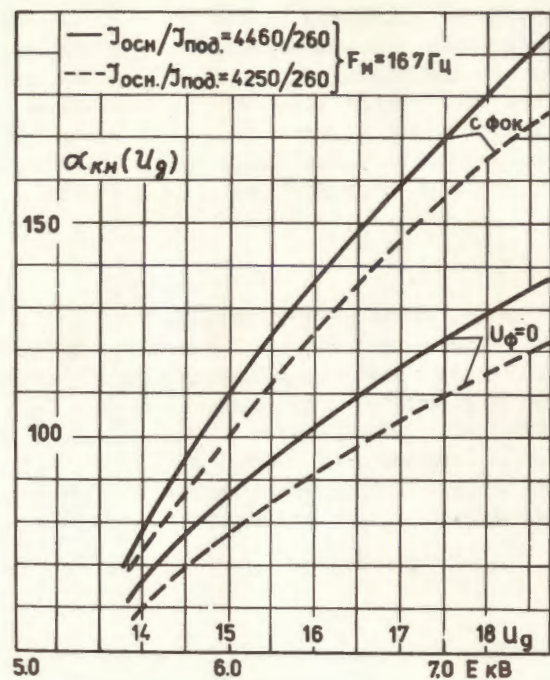


Рис.7. Зависимости интенсивности от амплитуды ускоряющего напряжения на захвате при работе генератора с модулятором.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Коррекция АЧХ при помощи анодного модулятора позволила по сравнению с манипулятором снизить потребляемую мощность на 20% или при той же потребляемой мощности повысить интенсивность на 40%.

Опыт работы с анодным манипулятором показал, что при помощи анодного модулятора можно получить на синхроциклотроне стабильное значение в сотни раз пониженной интенсивности, что было невозможно при управлении в.ч. генератора манипулятором. Уменьшенное значение интенсивности может быть получено при понижении общего уровня амплитуд ускоряющего напряжения до уровня, достаточного для устойчивого возбуждения в.ч. генератора с последующим локальным понижением амплитуд только на частотах захвата.



Анодный модулятор позволяет также управлять амплитудой ускоряющего напряжения на нижних частотах диапазона, что весьма полезно при работе с растяжкой пучка С-электродом, так как при этом появляется возможность коррекции коэффициента перезавхвата пучка в режим растяжки С-электродом.

Авторы признательны В.А.Алексееву за подготовку к работе анодного модулятора, А.В.Шестову - за участие в измерениях АЧХ.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Глазов А.А. и др. ОИЯИ Б1-9-11181, Дубна, 1977.
2. Енчевич И.Б., Томилина Т.Н. ОИЯИ Р9-3805, Дубна, 1968.
3. Алексеев В.А. и др. Аннотация доклада на У1 Всесоюзном совещании по ускорителям заряженных частиц, ОИЯИ, Д9-11874, стр. 48, Дубна, 1978.
4. Онищенко Л.М., Сафонов А.Н. ОИЯИ, Р9-12128, Дубна, 1978.
5. Данилов В.И. и др. Труды международной конференции по ускорителям, Дубна, 1963. Атомиздат М., /1964/, 591.

Рукопись поступила в издательский отдел  
4 июля 1979 года.