

сообщения  
Объединенного  
института  
ядерных  
исследований  
Дубна

С345e

0-587

23/iv-79

P9 - 12128

Л.М.Онищенко, А.Н.Сафонов

1574/2-79

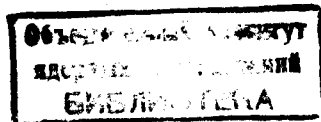
РАСЧЕТ АМПЛИТУДНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ  
СИНХРОЦИКЛОТРОНА ОИЯИ

1979

P9 - 12128

Л.М.Онищенко, А.Н.Сафонов

РАСЧЕТ АМПЛИТУДНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ  
СИНХРОЦИКЛОТРОНА ОИЯИ



Онищенко Л.М., Сафонов А.Н.

P9 - 12128

Расчет амплитудной характеристики синхроциклотрона ОИЯИ

Описывается алгоритм, позволяющий рассчитать амплитудную характеристику напряжения на дуанте синхроциклотрона  $U_g(t)$ , обеспечивающую ускорение пучка без фазовых потерь при минимальной высокочастотной мощности. Написанная на основе этого алгоритма программа FAZOPT использовалась для определения амплитудных характеристик при разных значениях частоты модуляции  $F_M$ , ускоряющего напряжения на захвате  $U_{g0}$ , величины магнитного поля в центре  $H_0$  и при вариации  $f_B$  - верхней частоты диапазона частот ускоряющего напряжения. При постоянном  $U_{g0}$  амплитуды  $U_g(t)$  в рабочем интервале частот возрастают при уменьшении  $f_B$  и при увеличении  $F_M$  и  $H_0$ . Подъем  $U_{g0}$  на 36% приводит к росту  $U_g$  в середине диапазона только на 11%. Из расчетов следует, что при наличии анодного модулятора имеется возможность повысить напряжение на захвате до 22 кВ без увеличения мощности высокочастотных потерь.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1979

Onishchenko L.M., Safonov A.N.

P9 - 12128

Computer Calculation of RF Dee Voltage Program for JINR Synchrocyclotron

An algorithm permitting to calculate the RF dee voltage program  $U_g(t)$  for the beam acceleration at minimum RF power without phase losses is described. The FAZOPT program written on the basis of this algorithm was used to determine RF dee voltage programs for different values of repetition rate  $F_M$ , dee voltage at capture  $U_{g0}$ , magnetic field value  $H_0$  and at variation  $f_B$  of upper frequency of RF range. At the constant  $U_{g0}$  dee voltage  $U_g(t)$  in the operation frequency range increases at diminishing  $f_B$  and at increasing  $F_M$  and  $H_0$ . The 36 percent raise of  $U_{g0}$  leads to the growth of  $U_g$  near the middle of the range only to 11 percent. It follows from the calculations that at the anode modulator of RF oscillator available the dee voltage at the capture may increase up to 22 kV without increasing RF power.

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

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1979

Данная работа стимулирована проводимыми в настоящее время исследованиями на синхроциклотроне ОИЯИ анодного модулятора, разработанного для установки "Ф" /1/. Использование анодного модулятора позволяет сформировать амплитудную характеристику синхроциклотрона таким образом, чтобы обеспечить ускорение пучка без фазовых потерь при минимальной потребляемой в.ч. мощности. Определение этой характеристики основано на использовании уравнения, описывающего адиабатическое затухание фазовых колебаний в процессе ускорения /2/:

$$a(\cos \varphi_s) = a(\cos \varphi_{s1}) \frac{E_1 H_1}{E H_1} \sqrt{\frac{\mathcal{B}_1 U_{g1} E_1 K}{\mathcal{B} U_g E K}}, \quad (1)$$

где  $a(\cos \varphi_s)$  - нормированная площадь области устойчивости,  $\varphi_s$  - равновесная фаза,  $E$  - полная энергия иона,  $H$ ,  $U_g$  и  $K$  - магнитное поле, ускоряющее напряжение и коэффициент автофазировки,  $\mathcal{B}$  - относительный набор энергии ионом за оборот. Индекс 1 соответствует радиусу  $r_1$ , начиная с которого, величина  $\mathcal{B}$  меняется адиабатически (в синхроциклотроне ОИЯИ  $r_1 \approx 20$  см). Введя вместо  $a(\cos \varphi_s)$  новую функцию в виде  $D(\cos \varphi_s) = \frac{a(\cos \varphi_s)}{\sqrt{\cos \varphi_s}}$  (см. рис.1), можно затухание фазовых колебаний учитывать по формуле

$$D(\cos \varphi_s) = D(\cos \varphi_{s1}) \frac{E_1 K f_1^2}{E K_1 f_1^2} \sqrt{\frac{f_1}{f}}, \quad (2)$$

которая получена из уравнения (1) подстановкой

$$U_g = - \frac{E \cdot f}{2e\mathcal{B}Kf^2 \cos \varphi_s}, \quad (3)$$

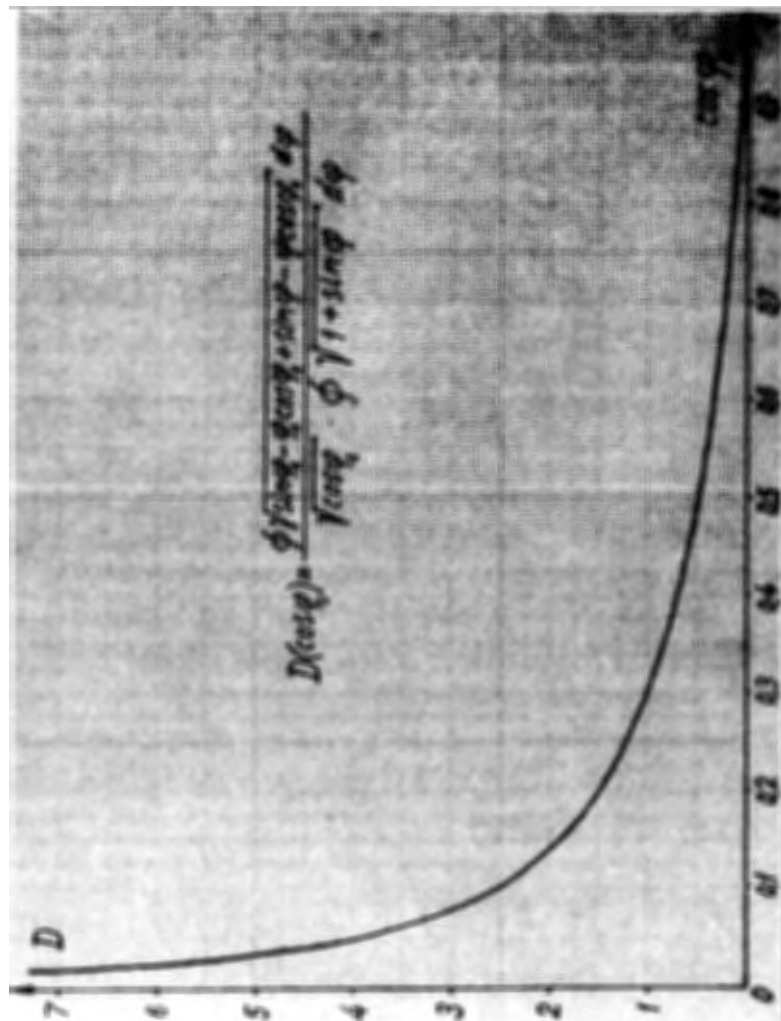


Рис. 1. График функции  $D(\cos \varphi_s)$  для учета загруза фазовых колебаний при расчете амплитудной характеристики синхротрона.

где  $f$  - частота ускоряющего напряжения, а  $\dot{f} = \frac{df}{dt}$  - производная частотной программы по времени.

Уравнение (2) при известных параметрах  $E$ ,  $K$ ,  $f$  и  $\dot{f}$  (см. таблицу характеристик) позволяет рассчитать величину  $D$  в зависимости от радиуса и по графику или таблице функции

$D(\cos \varphi_s)^*$  определить  $\cos \varphi_s$ , соответствующий, таким образом, фазовым колебаниям до границ фазовой устойчивости. Затем по формуле (3) можно найти амплитудную характеристику синхротрона, обеспечивающую ускорение без фазовых потерь при минимальных  $U_g$  для данной частотной программы.

Написанная с использованием этого алгоритма программа

**FAZOPT** дает возможность рассчитывать амплитудную характеристику при разных значениях частоты модуляции  $F_m$ , ускоряющего напряжения на захвате  $U_{g0}$  и величины магнитного поля в центре  $H_0$ . Листинг программы **FAZOPT** приведен в приложении.

В программе кроме  $U_g$  определяется также зависимость мощности высокочастотных потерь от времени  $P_{sv}(t)$  и средняя в.ч. мощность  $P_{cp}$ , выделяемая в резонансной системе за период модуляции. В.ч. мощность рассчитывается по формуле:

$$P_{sv} = \frac{U_g^2}{K_T^2 R_{ex}}, \quad (4)$$

где  $R_{ex}$  - входное сопротивление резонансной системы, а  $K_T = \frac{U_g}{U_{ex}}$  - коэффициент трансформации входного напряжения  $U_{ex}$  к напряжению на кромке дуанта  $U_g$ .

Программа была использована для расчета  $U_g$  и  $P_{sv}$  в режимах работы синхротрона ОИЯИ, близких к эксплуатацион-

\* Значения функции  $D(\cos \varphi_s)$  рассчитываются в начале программы и заносятся в память ЭВМ в виде таблицы.



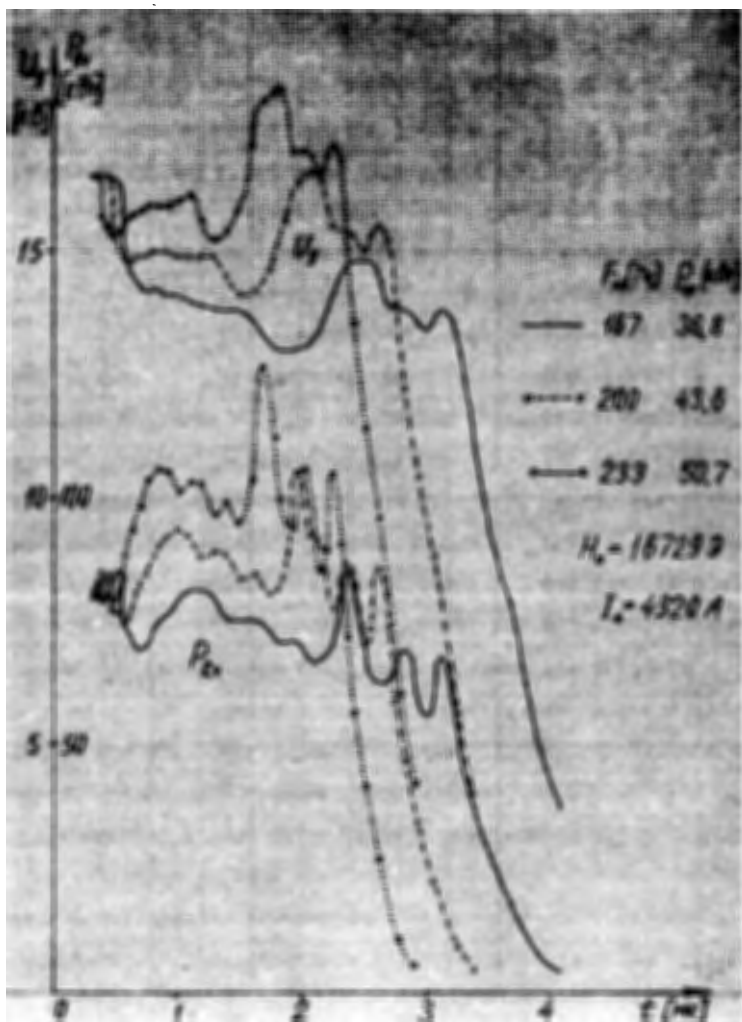


Рис.2. Влияние частоты модуляции на амплитудную характеристику и в.ч. мощность.

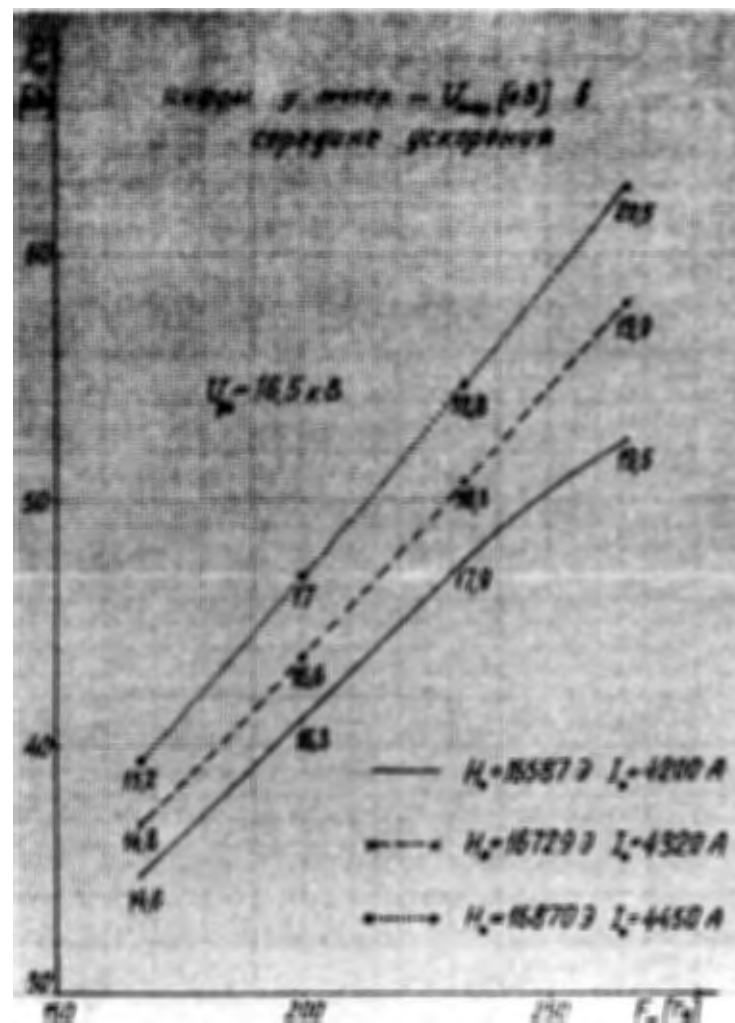


Рис.3. Зависимость средней за период модуляции в.ч. мощности от частоты модуляции и  $H_0(I_0)$ .

пучков и выведенных протонов с током магнита  $I_0 \leq 4300$  А. Вследствие этого, изменением тока магнита не удается значительно менять производную на захвате. Как видно из рис.4, напряжение на дуанте и  $P_{g_4}$  с изменением тока магнита  $I_0$  от 4200 до 4450А возрастают незначительно. Средняя мощность высокочастотных потерь  $P_{ср}$  увеличивается при этом примерно от 35 до 39 кВт. Магнитное поле в центре можно увеличить также постановкой железных колец на крышки камеры /6/, однако это связано со вскрытием ускорительной камеры и облучением персонала.

В синхротронном ОИЯИ при использовании конденсатора связи особой конструкции имеется еще возможность менять ход частотной кривой в верхней части диапазона, например, по закону

$$f = f_g - 2(f_g - 24)(t - 0,1)^2 \quad (f[\text{MHz}], t[\text{mc}])$$

со сшивкой с реальной частотной кривой  $f(t)$  на частоте 24 МГц. На рис.5 показано, как меняется амплитудная характеристика и в.ч. мощность для такого закона при изменении  $f_g$  от 25,92 до 25,52 МГц. Видно, что уменьшение  $|f_g|$  почти до нуля приводит к заметному росту  $U_g$  и  $P_{g_4}$  на большей части диапазона.

Ток пучка в синхротронном ОИЯИ при частотах модуляции вблизи 170 Гц возрастает с увеличением ускоряющего напряжения /5/. Поскольку при наличии анодного модулятора фазовые потери могут быть устранены, то интенсивность пучка будет определяться, главным образом, значением производной частотной программы и величиной ускоряющего напряжения в течение времени захвата. На рис.6 показано, как изменяется амплитудная характеристика и  $P_{g_4}$  в зависимости от ускоряющего напряжения на захвате  $U_{g_0}$ . Видно, что вследствие затухания фазовых колебаний  $U_g$  в середине ускорения возрастает всего лишь на 11% при увеличении  $U_{g_0}$  на 36%. Этот факт также позволяет надеять-

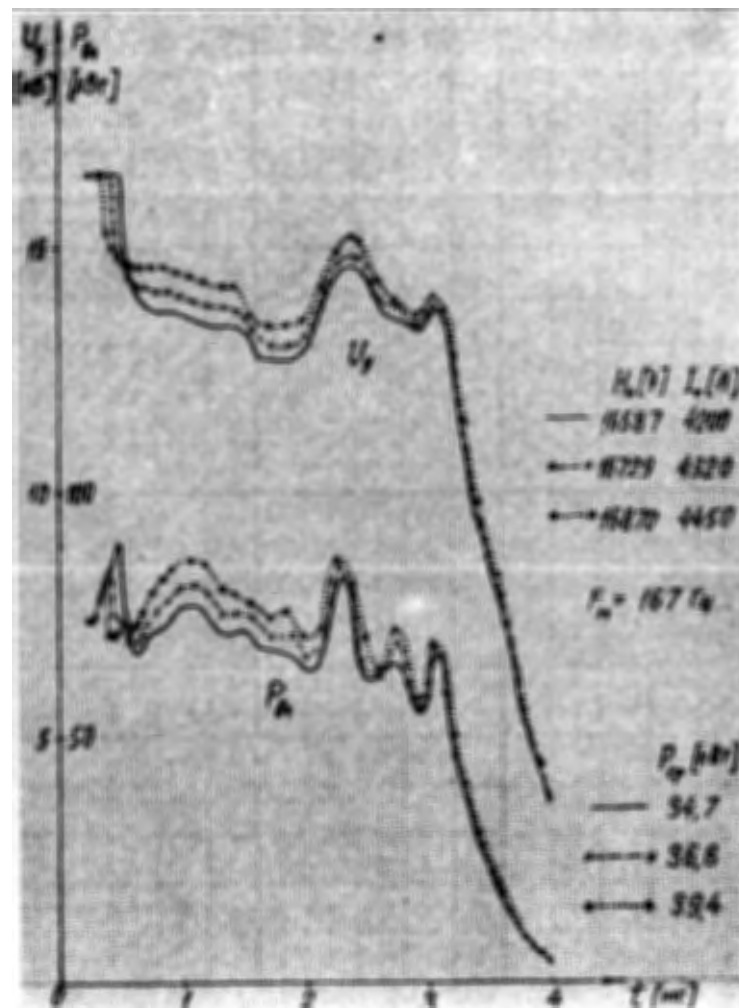


Рис.4. Влияние величины магнитного поля на амплитудную характеристику и в.ч. мощность.



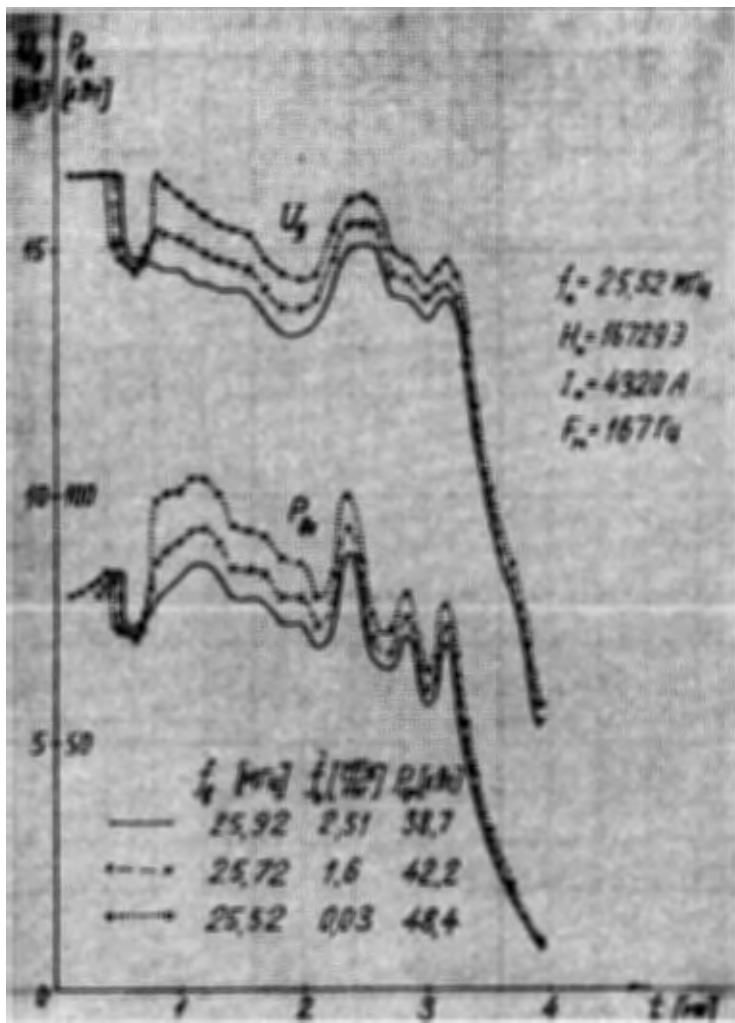


Рис.5.  $U_g$  и  $P_{cp}$  при вариации кривой  $f(t)$  по закону  $f(t) = f_0 - 2(f_0 - 24)(t - 0.1)^2$  в диапазоне от  $f_0$  до 24 МГц.

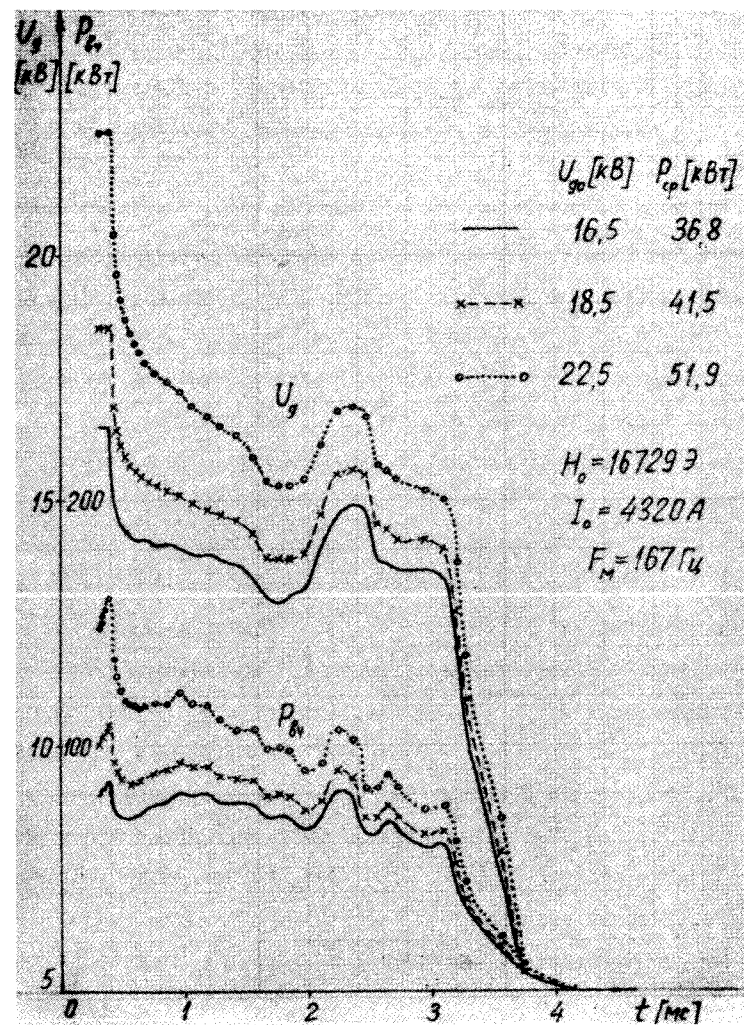


Рис.6. Амплитудные характеристики и в.ч. мощность при разных напряжениях на захвате  $U_0$ .



ся получить увеличение интенсивности пучка без существенного роста потребляемой в.ч. мощности. Зависимости средней за период модуляции в.ч. мощности  $P_{cp}$  от ускоряющего напряжения на захвате  $U_{go}$  изображены на рис.7 для четырех значений частоты модуляции.

Из анализа вышеприведенных графиков видно, что для увеличения интенсивности при заданных предельных эксплуатационных параметрах (например:  $P_{max} = 50$  кВт,  $U_{max} = 22$  кВ,  $F_{max} = 180$  Гц и  $I_{max} = 4320$  А) следует в первую очередь увеличивать напряжение на захвате  $U_{go}$ , пока не будет достигнута предельно допустимая средняя мощность  $P_{max}$ , так как при этом  $U_g$  в середине ускорения возрастает незначительно, а ток пучка увеличивается с  $U_{go}$  быстрее, чем по линейному закону  $\sqrt{5,7}$ . Если  $U_{go}$  станет равно  $U_{max}$  раньше, чем  $P_{cp}$  сравняется с  $P_{max}$ , то дальнейшее увеличение интенсивности можно проводить увеличением  $F_m$  до  $F_{max}$ . При этом амплитудная характеристика выравнивается, т.е.  $U_g$  в середине ускорения приближается к  $U_{max}$ . В случае, если и  $F_{max}$  будет достигнута при  $P_{cp}$ , меньшем  $P_{max}$ , следует увеличивать время захвата. Для этого можно понижать верхнюю частоту, добиваясь уменьшения  $|f_0|$  на частотах захвата. Затем для новой частотной кривой также поднять  $U_{go}$ ,  $F_m$  и  $I_0$  до предельно допустимых эксплуатационных значений.

На рис.8 приведены расчетные  $U_g$  и  $P_{ch}$  для существующей частотной кривой с  $f_0 = 26$  МГц (кривая 1) и для частотной кривой с увеличенным временем захвата при  $f_0 = 25,52$  МГц (кривая 2), а также  $U_g$  и  $P_{ch}$  в обычном режиме работы синхротронотрона ОИЯИ (кривая 3). Видно, что при использовании рассчитанных амплитудных характеристик можно получить увеличение

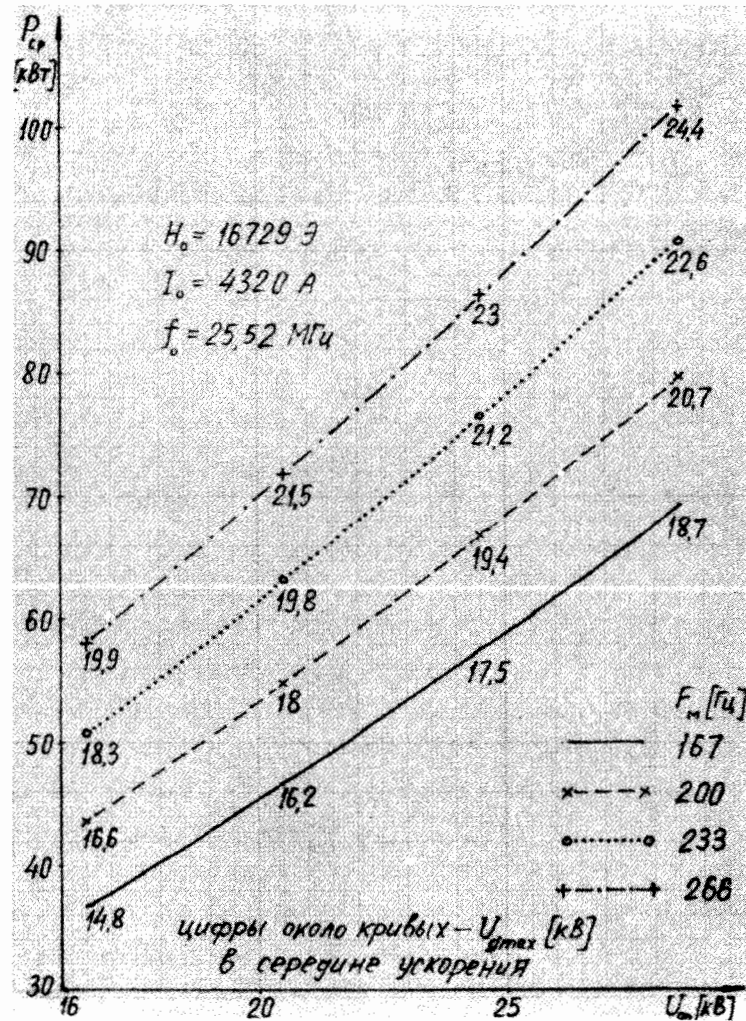


Рис.7. Зависимость средней за период модуляции в.ч. мощности от  $U_{go}$  и частоты модуляции.

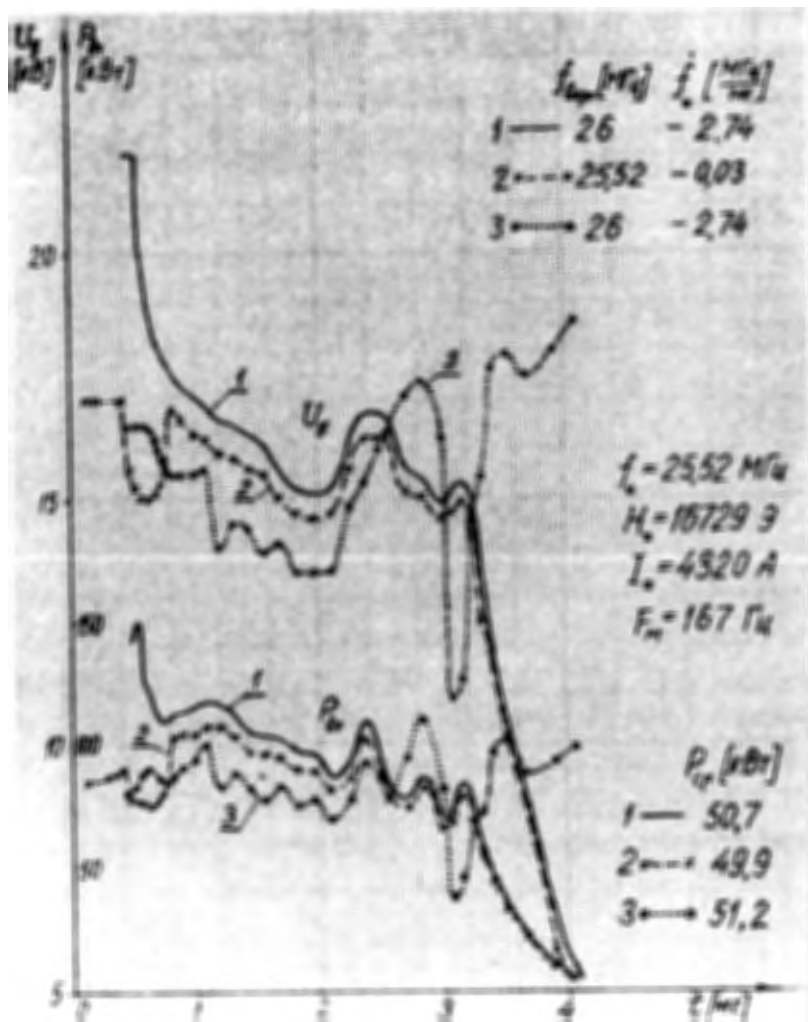


Рис.8. Сравнение рассчитанных  $U_g$  и  $P_g$  (кривые 1 и 2) с рабочими для синхроциклотрона ОИЯИ без модулятора (кр. 3).

$U_{g0}$  или времени захвата без роста средней за период модуляции мощности, потребляемой в.ч. системой.

Таким образом, в результате проведенной работы:

1. Создан алгоритм, позволяющий рассчитать по программе FAZOPT амплитудную характеристику синхроциклотрона, обеспечивающую ускорение пучка без фазовых потерь при минимальной мощности высокочастотных потерь.

2. С использованием этой программы изучено влияние на амплитудную характеристику и в.ч. мощность частоты модуляции  $F_m$ , ускоряющего напряжения на захвате  $U_{g0}$  и начальной производной частотной программы  $\dot{f}_0$ , а также величины магнитного поля в центре  $H_0$ .

3. Для существующей частотной кривой с  $f_g = 26$  МГц оптимальной будет амплитудная характеристика при  $U_{g0} = 22$  кВ,  $F_m = 167$  Гц,  $H_0 = 16729$  Э ( $I_0 = 4320$  А). Средняя за период модуляции в.ч. мощность равна при этом  $P_{cp} = 50,7$  кВт (см. рис.8, кривая 1).

4. При возможности понизить  $f_g$  до 25,52 МГц следует использовать амплитудную характеристику с  $U_{g0} = 17$  кВ,  $F_m = 167$  Гц,  $H_0 = 16729$  Э, которой соответствует  $P_{cp} = 49,9$  кВт (см. рис.8, кривая 2).

Авторы признательны Б.Н.Марченко, Т.Н.Томилиной и Е.И.Розанову за предоставленные ими данные о параметрах в.ч. системы и за полезные обсуждения.

PROGRAM FAZOPT

```

PROGRAM FAZOPT (INPUT,OUTPUT)
DIMENSION R(40),H(40),DHR(40),EVO(40),ANI(200),B3(40),AI(4),H0(4)
1,FRO(32),ROEIO(32),TKO(32),FI(41),DFTI(41),UI(41)
2,COSFI(200),DNI(200),TI(48),RM(200),FIOTER(200),TO(48)
3,P(40),E(40),M(40),BETA(40),F(40),AN(40),AK(40),DFT(40),U(40)
4,T(40),COSFIR(40),A(40),COSFID(40),D(40),COSFUD(40),UD(40)
5,ROE(40),TK(40),ANO(200),DNO(200),COSFO(200)
6,EB4(40),B4M(40),DF(9),DT(9),UM(40)
7,DFN(48),FN(48),UN(48),TF(12),DFTF(12)
  READ 1,EP,Z
  READ 1,R,H,DHR,EVO,ANI,B3,AI,H0,FRO,ROEIO,TKO,FI,DFTI,UI
  READ 4,NT,NXAP,I4,IM,IG,EAH,FMH,AI0,I,KR,KT,EA,FMI
  PRINT 1,FI $ PRINT 1,DFTI $ PRINT 1,UI
  IZ=Z $ COSFI(1)=0. $ DNI(1)=888.
  EAH=EA1 $ EAP=EAH $ IFM=FMI $ IFP=FMH $ AI1=AI0
  DO 14 K=2,200
  COSFI(K)=(K-1)/200.
14 DNI(K)=ANI(K)/SQRT(COSFI(K))
  DO 12 K=1,200
  ANO(K)=ANI(201-K) $ DNO(K)=DNI(201-K)
12 COSFO(K)=COSFI(201-K)
  IS=1J $ JS=9
  NM=40
  NH=I
  DI=0.1 $ KH=1
  DI=J.
  DDFI=0.25 $ DFM=1.5
  DDFI=0.
  UDU=23. $ DU=2. $ UDP=20. $ U1=17.
  DU=J. $ PBM=60.
  DE=2. $ EM=8.5
  DE=0.
  DFMJU=23. $ FMH=240.
  DFMOD=0.
  DF0=J.2 $ F0=25.9214
  FJ=25.5214
  DF0=0.
  NC=2
  NC1=NC $ NCK=4 $ DC=1.
  FU1=FJ $ DC=0.
  DO 63 K=1,7
  UN(2*K-1)=UI(K) $ UN(2*K)=(UI(K)+UI(K+1))*0.5 $ TI(2*K-1)=0.1*K
63 TI(2*K)=0.05*(2*K+1)
  DO 61 K=15,KT
  UN(K)=UI(K-7)
  DFN(K)=DFTI(K-7) $ TI(K)=0.1*(K-7)
61 FN(K)=FI(K-7)
24 KJU=0 $ KPB=0 $ IA=AI0*1000.1
  IF(AI0.E1.4.32) GO TO 3
  JJ=AIJ $ IK=1 $ IB=1 $ NEXP=4
  DO 33 I=1,4
  RM(I)=AI(I)
33 FIOTER(I)=H0(I)
  CALL SPLINC(UJ,IK,IB,NEXP,FM,FIOTER,VONG)
  HUH=VONG $ H01=H0H/H(I)
  DO 36 I=1,20
  H(N)=I(N)*H01 $ DHR(N)=DHR(N)*HJ1 $ RM(N)=R(N+2.)

```

PROGRAM FAZOPT

```

H(N+20)=H0H*(1.-U.01*(B3(N+20)+B3(N)*H0H))
36 FIOTER(N)=H(N+20)
  IK=1 $ IB=2 $ NEXP=20
  DO 37 N=1,20
  UJ=RM(N)
  CALL SPLINC(UJ,IK,IB,NEXP,FM,FIOTER,VONG)
37 DHR(N+20)=-VONG
35 DO 38 N=1,40
  F(N)=0.3*Z*H(N)*R(N)
  E(N)=SQRT(P(N)**2+EP**2)
  H(N)=E(N)-EP
  BETA(N)=SQRT(ABS(1.-(EP/E(N))**2))
  BETA(1)=0.00001
  F(N)=1431.4*Z*H(N)/E(N)
  AN(N)=-R(N)*DHR(N)/H(N)
38 AK(N)=1.-AN(N)/(1.+AN(N))*BETA(N)**2
  IK=1 $ IB=1 $ NEXP=KT $ PRINT 7
  DEF=FU-24.
  DO 57 K=1,14
  DFN(K)=NC*NC*DEF*(.05*(K-1))**(NC-1)
57 FN(K)=F0-NC*DEF*(.05*(K-1))**NC
  PRINT 1,FN $ PRINT 1,DFN $ PRINT 1,UN
18 DO 41 K=1,KT
  RM(K)=FN(KT-K+1) $ TO(K)=TI(KT-K+1)
41 FIOTER(K)=TO(K)
  PRINT 1,(RM(K),K=1,KT) $ PRINT 1,II $ PRINT 1,TO
  DO 42 N=1,40
  UJ=F(N)
  CALL SPLINC(UJ,IK,IB,NEXP,FM,FIOTER,VONG)
42 T(N)=VONG
  PRINT 1,F,T
  DO 64 N=1,12
  TF(N)=(FJ-F(N))/(NC*DEF)**(1./NC) +0.1
64 T(N)=TF(N)
  PRINT 1,TF
  IK=1 $ IB=1
  DO 43 K=1,KT
  RM(K)=T(K)
43 FIOTER(K)=DFN(K)
  DO 44 N=1,40
  UJ=T(N)
  CALL SPLINC(UJ,IK,IB,NEXP,FM,FIOTER,VONG)
44 DFT(N)=VONG
  PRINT 1,DFT
  DO 65 N=1,12
  DFTF(N)=NC*NC*DEF*(TF(N)-0.1)**(NC-1)
65 JFT(N)=DFTF(N)
  PRINT 1,JFTF
60 IK=1 $ IB=1
  DO 45 K=1,KT
45 FIOTER(K)=UN(K)*0.5
  DO 46 N=1,40
  UJ=T(N)
  CALL SPLINC(UJ,IK,IB,NEXP,FM,FIOTER,VONG)
46 U(N)=VONG
  DO 66 N=1,I
66 J(N)=J1

```

## PROGRAM FAZOPT

```

PRINT 1,U
DO 16 N=1,40
T(N)=T(N)*FMI/FMH
DFT(N)=DFT(N)*FMH/FMI
U(N)=U(N)*EAH/EAN
16 COSFIR(N)=E(N)*DFT(N)/(EVO(N)*U(N)*AK(N)*F(N)**2*.Z)
COSFIR(1)=1.
IF(KH.EQ.0) GO TO 21
IK=1 NEXP=KR
DO 47 K=1,KR
RM(K)=FRO(K)
47 FIOTER(K)=ROEIO(K)
DO 48 N=1,40
UJ=F(N)
CALL SPLINC(UJ,IK,IB,NEXP,RM,FIOTER,VONG)
48 ROE(N)=VONG
IK=1
DO 49 K=1,KR
49 FIOTER(K)=TKO(K)
DO 50 N=1,40
UJ=F(N)
CALL SPLINC(UJ,IK,IB,NEXP,RM,FIOTER,VONG)
50 TK(N)=VONG
21 IK=1 NEXP=200 UJ=COSFIR(I)
DO 51 K=1,200
RM(K)=COSFI(K)
51 FIOTER(K)=ANI(K)
CALL SPLINC(UJ,IK,IB,NEXP,RM,FIOTER,VONG)
A1=VONG
D1=A1/SQRT(COSFIR(I))
DO 3 N=1,40
A(N)=A1 *H(N)*E(I)*SQRT((E(I)*U(I)*AK(N)*EVO(I))/(L(N)*J(N)*EVO(N)
C)*AK(I))/(H(I)*E(N))
D(N)=D1*(F(N)/F(I))**2*E(I)/E(N)*AK(N)/AK(I)*SQRT(DFT(I)/DFT(N))
IK=1 UJ=A(N)
DO 52 K=1,200
RM(K)=ANO(K)
52 FIOTER(K)=COSFO(K)
CALL SPLINC(UJ,IK,IB,NEXP,RM,FIOTER,VONG)
COSFID(N)=VONG
IK=1 UJ=D(N)
DO 53 K=1,200
RM(K)=DNO(K)
CALL SPLINC(UJ,IK,IB,NEXP,RM,FIOTER,VONG)
COSFUD(N)=VONG
UD(N)=E(N)*DFT(N)/(EVO(N)*AK(N)*F(N)**2*.COSFUD(N))
UM(N)=UD(N)
3 CONTINUE
DO 55 N=1,NM
55 UM(N)=U(I)
DO 56 N=1,40
IF(UJ(N).GT.UDP) KUD=1
56 EB4(N)=(U4(N)/TK(N))**2/ROE(N)*1000.
DO 19 M=1,NT
IF(KH.EQ.0) PRINT 7
PRINT 13,NXAP,EP,I2,IA,IFP,EAH,I4,IM,IG,EAI,IFM
IF(NM.EQ.40) PRINT 9 & IF(NM.EQ.1) PRINT 26 & PRINT 6

```

## PROGRAM FAZOPT

```

J=0
DO 8 N=1,40
IF(N.EQ.1)
1PRINT 5,R(N),H(N),DHR(N),AN(N),AK(N),BETA(N),W(N),F(N),DFT(N),U(N)
2,TK(N),ROE(N),EB4(N),T(N),R(N)
IF(N.GT.1.AND.N.LT. 1)
1PRINT 5,R(N),H(N),DHR(N),AN(N),AK(N),BETA(N),W(N),F(N),DFT(N),U(N)
2,TK(N),ROE(N),EB4(N),T(N),R(N),COSFIR(N)
IF(N.GE. 1)
1PRINT 5,R(N),H(N),DHR(N),AN(N),AK(N),BETA(N),W(N),F(N),DFT(N),U(N)
2,TK(N),ROE(N),EB4(N),T(N),R(N),COSFIR(N),COSFID(N),UD(N),COSFUD(N)
J=J+1
IF(J.EQ.8) PRINT 6
IF(J.EQ.8) J=0
8 CONTINUE
10 CONTINUE
B4M(1)=0.
DO 19 N=1,39
DB4M=0.5*(EB4(N)+EB4(N+1))*(T(N+1)-T(N))
19 B4M(N+1)=B4M(N)+DB4M
PB4=B4M(40)/(T(40)-T(1))
B4T=B4M(40)*FMH/4186.8
PB4C=B4T*4.1868
IF(PB4C.GT.PBM) KPB=1
PRINT 20, PBM, PB4,PB4C,B4T
IF(KUD.EQ.1) PRINT 28
IF(KPB.EQ.1) PRINT 29
FMI=FMH & EAN=EAH
IF(DU.EQ.0.) GO TO 11
DO 23 N=1,I
23 U(N)=U(N)+DU
KH=0
IF(U(I). LE.UDP) GO TO 2
DO 67 N=1,I
67 U(N)=U1
11 IF(DI.EQ.0.) GO TO 15
AI0=AI0+DI & IF(AI0.LE.4.45) GO TO 24 & AI0=AI1
15 IF(DE.EQ.0.) GO TO 17
KH=0 & EAH=EAH+DE & IF(EAH.LE.EM ) GO TO 2 & EAH=EAF
17 IF(DFMOD.EQ.0.) GO TO 69
KH=0 & FMH=FMH+DFMOD & IFP=FMH & IF(FMH.LE.FMM ) GO TO 2
FMI=IFM
69 IF(DF0.EQ.0.)GOTO 70 & F0=F0-DF0 & IF(F0.GT.F(1)) GO TO 24 & F0=F01
F0=25.5214
70 IF(DC.EQ.0.) GO TO 25 & NC=NC+1 & IF( NC.LE.NCK) GO TO 24 & NC=NC1
25 IF(DDFT .EQ.0.) GO TO 58
DO 31 N=1,JS
DF(N)=F(N)-F(N+1)
DFT(N)=DFT(N)*(1.-UDFT*(IS-N)/IS)
31 DT(N)=DF(N)/DFT(N)
KH=0
N=JS
34 T(N)=T(N+1)-DT(N)
N=N-1 & IF(N.GT.0) GO TO 34 & IF(DFT(1).GT.DFM) GO TO 2
58 STOP
1 FORMAT(8F10.5)
4 FORMAT(5I5,3F10.4,3I5,2F5.1)

```

## PROGRAM FAZOPT

```

5 FORMAT(1X,F5.1,F8.4,F8.5,F9.5,Fb.3,F7.4,F8.3,F7.3,F5.2,F5.1,F5.2,2
1F6.1,F6.3,F5.0,2F6.3,F5.1,F6.3)
6 FORMAT(1X)
7 FORMAT(1H1,1X/)
9 FORMAT(1X,#R(GM) H(KERS) DH(KE/CM) N K V/C W(MEV) F(M
1HZ) DFT U(KV) KT RE(CM) P(KW) T(MS) R-CM COSF COSFD UD-KV CCSUD#)
13 FORMAT(1X //42X,#ХАРАКТЕР. YCKCP. HA 680 MEV N #,I3//3X,#E0=#,F
29.4,#MEV Z=#,I2,# I0=#,I4,#A FMP=#,I3,#HZ EAP=#,F3.1,#KV#,24X,
3#B4 XAP. OT #,2(I2,#.#),I2,# C EA=#F3.1,#KV, FM=#,I3,#HZ#//)
20 FORMAT(1X,#CPEDH. 3A T YCKOP. P34=#,F6.1,# KW, CPEDH. 3A T MOD. P
134C=#,F6.1,# KW, 3A T MOD. B4T=#,F6.2,# KKA/S#//)
26 FORMAT(1X,#R(CM) H(KERS) DH(KE/CM) N K V/C W(MEV) F(M
1HZ) DFT U(KV) KT RE(CM) PD-KW T(MS) R-CM COSF COSFD UD-KV CCSLD#)
28 FORMAT(1H+,10X,#UD)UDF#)
29 FORMAT(1H+,110X,#P34C)PBM#)
END

```

## Д А Н Н Ы Е

f[MГц], f[MГц/с] и U<sub>0</sub>\*2[kВ] через 100 мкс

26.00000	25.91000	25.80000	25.63000	25.33000	24.95000	24.54000	24.00000
23.50000	23.04000	22.56000	22.14000	21.67000	21.26000	20.80000	20.40000
20.00000	19.67000	19.24000	18.92000	18.54000	18.23000	17.89000	17.48000
17.11000	16.76000	16.50000	16.17000	15.90000	15.67000	15.37000	15.13000
14.90000	14.67000	14.52000	14.38000	14.28000	14.18000	14.12000	14.07000
14.03000							
0.00000	.75000	1.55000	2.53000	3.49000	4.22000	4.65000	4.86000
4.90000	4.82000	4.72000	4.61000	4.50000	4.36000	4.25000	4.10000
3.87000	3.82000	3.63000	3.55000	3.45000	3.55000	3.70000	3.68000
3.49000	3.24000	3.06000	2.88000	2.73000	2.63000	2.62000	2.56000
2.30000	1.85000	1.50000	1.27000	1.07000	.78000	.61000	.48000
.30000							
27.00000	32.00000	33.00000	33.00000	33.00000	33.00000	32.00000	31.00000
31.00000	31.00000	31.00000	28.00000	29.00000	29.00000	28.00000	28.00000
28.00000	27.00000	27.00000	27.00000	27.00000	29.00000	30.00000	31.00000
32.00000	33.00000	34.00000	35.00000	35.00000	34.00000	20.00000	27.00000
30.00000	35.00000	36.00000	35.00000	35.00000	36.00000	36.00000	36.00000
38.00000							

## ЛИТЕРАТУРА

- I. Алексеев В.А. и др. Комплекс радиоэлектронной аппаратуры быстродействующего программируемого модулятора ГВЧ синхротрона. Аннотация доклада на VI Всесоюзном совещании по ускорителям заряженных частиц. ОИЯИ, Д9-11874, стр.48, Дубна, 1978.

2. Сафонов А.Н. Расчет допустимого роста  $\cos \varphi_z$  и оценка фазовых потерь. ОИЯИ, БИ-9-10978, Дубна, 1977.
3. Данилов В.И. и др. Расчет начальной области устойчивых фазовых колебаний в синхротроне. ОИЯИ, Р-1448, Дубна, 1963.
4. Vohn D., Feldy L.L. Phys.Rev., 72 (1947) 649.
5. Глазов А.А. и др. Высокочастотные характеристики синхротрона ОИЯИ за период 1973-76 гг. ОИЯИ, БИ-9-11181, Дубна, 1977.
6. Данилов В.И. и др. Формирование магнитного поля в центральной области синхротрона с целью увеличения вертикальной фокусировки. ОИЯИ, Р9-3181, Дубна, 1967.
7. Данилов В.И. и др. Зависимость интенсивности от ускоряющего напряжения в фазотроне ОИЯИ. Атомная энергия, т.21, вып.5, (1966) 402.

Рукопись поступила в издательский отдел  
26 декабря 1978 года.