

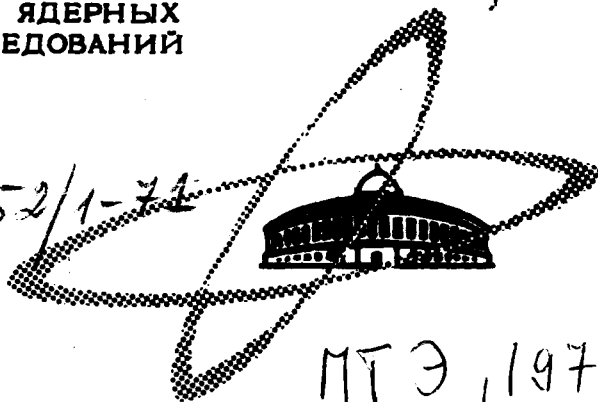
С 345 е 2

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
Б-399 ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна.

P9 - 5956

3352/1-71



МТЭ, 1972, и 1 с 37-38

Ю.Д.Безногих, Л.П.Зиновьев, Р.Б.Кадыров,
Ю.К.Карягин, Н.Н.Пляшкевич, В.А.Попов,
И.Н.Семенюшкин, В.Л.Степанюк

ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

ДЕБАНЧЕР ИНЖЕКТОРА
СИНХРОФАЗОТРОНА ОИЯИ
С МОДУЛЯЦИЕЙ ЭНЕРГИИ
УСКОРЕННОГО ПУЧКА

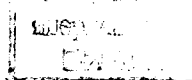
1971

P9 - 5956

Ю.Д.Безногих, Л.П.Зиновьев, Р.Б.Кадыров,
Ю.К.Карягин, Н.Н.Пляшкевич, В.А.Попов,
И.Н.Семенюшкин, В.Л.Степанюк

ДЕБАНЧЕР ИНЖЕКТОРА
СИНХРОФАЗОТРОНА ОИЯИ
С МОДУЛЯЦИЕЙ ЭНЕРГИИ
УСКОРЕННОГО ПУЧКА

Направлено в ПТЭ



Одним из эффективных способов повышения интенсивности синхрофазотрона ОИЯИ является сведение к минимуму потерь частиц в процессе инжекции и ускорения. Можно добиться существенного повышения интенсивности ускоренных частиц, если уменьшить энергетический разброс пучка инжектора и выбрать оптимальный режим инжекции в синхрофазотрон^{/1,2/}. Практически это можно осуществить, если на выходе линейного ускорителя установить устройство (резонатор), позволяющее изменять энергию инжектируемого в синхрофазотрон пучка в соответствии с ростом магнитного поля. При правильно выбранном расстоянии от линейного ускорителя этот резонатор сможет существенно уменьшить энергетический разброс инжектируемого пучка, выполняя функции так называемого дебанчера, и модулировать его энергию.

В данной работе приводятся основные результаты расчёта эффективности инжекции в синхрофазотрон ОИЯИ при модуляции энергии и уменьшении энергетического разброса пучка инжектора, краткое описание дебанчера и основные экспериментальные результаты, полученные в процессе его наладки и опытной эксплуатации на синхрофазотроне.

Если энергия частиц, вводимых в синхрофазотрон, меняется таким образом, что их мгновенная равновесная орбита имеет фиксированный радиус и проходит в непосредственной близости от внутренней инфлекторной пластины, то, очевидно, инжекция в синхрофазотрон может продолжаться до тех пор, пока равновесная орбита частиц, инжектированных вначале, не достигнет внутренней стенки камеры. При этом инжекция частиц будет проходить все время с малой амплитудой радиальных бетатронных колебаний.

Таким образом, при переменной энергии инжекции можно почти вдвое увеличить время инжекции и, кроме того, проводить инжекцию с малыми амплитудами радиальных бетатронных колебаний. Это позволяет, во-первых, вдвое увеличить количество инжектируемых в камеру синхрофазотрона частиц, во-вторых, существенно уменьшить потери частиц из сепаратрисы при их фазовом движении в начальный период синхротронного ускорения, поскольку эти потери имеют место, когда сумма амплитуд радиальных бетатронных и синхротронных колебаний превышает расстояние частиц до стенок вакуумной камеры.

Расчёт эффективности инжекции при модуляции энергии инжектора и сужении его энергетического разброса с помощью резонатора дебанчера проводился методом численного интегрирования и сводился к максимизации функции

$$\tau_{\text{эф}} = \sigma_{\beta} \sigma_{\alpha} \tau_{\text{и}},$$

где $\tau_{\text{эф}}$ - эффективность инжекции, σ_{β} - коэффициент захвата частиц в бетатронный режим ускорения, σ_{α} - коэффициент захвата частиц в синхротронный режим ускорения, $\tau_{\text{и}}$ - длительность импульса. Расчёт проводился для существующего инжектора протонов с энергией 9,4 Мэв и током 1,2 ма. Необходимая глубина модуляции энергии инжектора $m = 3\%$, для чего достаточно изменять фазу напряжения на ускоряющем зазоре резонатора с -45° до $+45^{\circ}$ при напряжении на зазоре 200 кв (ам-

плитудное значение). При расположении резонатора дебанчера на расстоянии 6 метров от выхода линейного ускорителя он будет производить сужение энергетического разброса инжектируемых частиц с $\frac{\Delta W_m}{W_0} = 2,3\%$ до $\frac{\Delta W_m}{W_0} = 0,6\%$. Для расчёта эффективности инжекции были взяты реальные распределения инжектируемых частиц по углам γ , сечению сгустка g и энергиям W , максимальные значения которых для существующего инжектора составляют $\Delta \gamma_m = 6 \cdot 10^{-3}$ рад, $\Delta g_m = 3,5$ см, $\frac{\Delta W_m}{W_0} = 0,6\%$. Основные результаты расчёта приведены в таблице.

Режим инжекции	$\frac{\Delta W_m}{W_0}$	τ и (мксек)	σ	τ эф (мксек)
$W_0 = 9,4$ Мэв без дебанчера	$2,3 \cdot 10^{-2}$	300	0,12	36
$W_0 = 9,4$ Мэв с дебанчером	$6 \cdot 10^{-3}$	300	0,21	63

Таким образом, при применении дебанчера с модуляцией энергии следует ожидать повышения интенсивности синхрофазотрона в 1,75 раза за счёт увеличения общего коэффициента захвата σ с 0,12 до 0,21 ($\sigma = \sigma_\beta \sigma_s$).

Основным узлом дебанчера является резонатор (рис. 1), который создает высокочастотное электрическое поле, воздействующее на пучок частиц инжектора. Высокочастотная мощность поступает в резонатор из блока ВЧ генераторов, выполненных на 4 мощных триодах по схеме с заземленной сеткой. Для модуляции фазы поступающего в резонатор ВЧ напряжения относительно фазы напряжения в резонаторе линейного ускорителя предусмотрен электронный модулятор фазы, расположенный на входе блока ВЧ генератора. Модулятор фазы выполнен в виде десятизвенной искусственной линии, в которой в качестве емкостей используются полупроводниковые диоды. Емкость диодов управляется запирающим пилообраз-

ным напряжением. При этом фаза на выходе модулятора изменяется на 90° по линейному закону. Импульсное анодное напряжение для блока ВЧ генераторов создает тиратронный импульсный модулятор на искусственной линии. Синхронизация всей установки осуществляется с помощью трехканального блока задержек, запускаемого импульсом начала инъекции.

Резонатор дебанчера (рис. 1) представляет собой четвертьволновый отрезок коаксиальной линии с круглым сечением. Здесь 1 - торцовый диск, 2 - электрод для подавления мультипакции, 3 - изоляторы крепления электрода, 4 - наружный проводник резонатора, 5 - изоляторы крепления дискового электрода, 6 - шпильки механизма грубой подстройки резонатора, 7 - экраны для предотвращения излучения ВЧ мощности через пролетные отверстия, 8 - дисковый электрод для подавления мультипакции, 9 - фланец ввода мощности, 10 - внутренний проводник ввода, 11 - вакуумный изолятор ввода, 12 - электрод для подавления мультипакции внутри ввода, 13 - наружный проводник ввода, 14 - петля связи, 15 - внутренний проводник резонатора. Длина ускоряющего зазора резонатора 5 см была выбрана из условий получения фактора времени пролета 0,9 при напряженности поля 40 кв/см. Добротность резонатора 12800, шунтовое сопротивление 1,2 мом, подводимая мощность 50 квт, собственная резонансная частота 143,5 Мгц (равна частоте резонатора линейного ускорителя). Для устранения дефокусировки инжестируемого пучка высокочастотным электрическим полем в пролетном отверстии резонатора находятся две восьмиэлементные сетки, расположенные по обе стороны от ускоряющего зазора. Грубая подстройка резонатора в пределах 2 Мгц осуществляется деформацией днища с помощью шпилек (6). Плавная подстройка резонатора в пределах 80 кгц осуществляется с помощью короткозамкнутого коаксиального шлейфа, подсоединенного ко второму вводу мощности, отстоящему от первого на 90° .

В результате опытной эксплуатации дебанчера – модулятора энергии инжектора – на синхрофазотроне ОИЯИ был получен выигрыш в интенсивности ускоренного пучка в $1,3+1,4$ раза при ускорении протонов и примерно в два раза при ускорении дейтронов. Различие в эффективности работы дебанчера объясняется тем, что энергия инжектируемых дейтронов (4,7 Мэв) в два раза ниже, чем энергия протонов, и выбранная по конструктивным причинам база дрейфа 3 метра соответствует расчётному значению только для дейтронов. Применение дебанчера-модулятора энергии инжектора позволяет увеличить длительность инжекции с 300 мксек до 625 мксек, однако в настоящее время по техническим причинам длительность инжекции оставлена прежней.

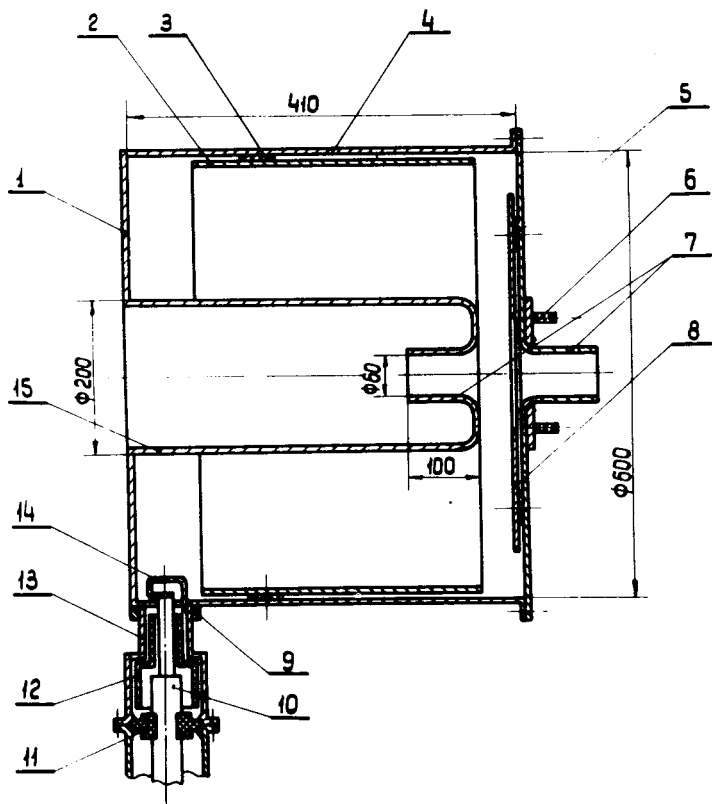
Авторы выражают благодарность И.П. Голембевской, М.А. Головой, В.В. Шустрову, В.А. Кононову за активное участие в создании установки.

Литература

1. А.Б. Кузнецов. Препринт ОИЯИ, Р-2266, Дубна, 1965.
2. W. Myers and J. Abraham. IEEE Transactions on Nuclear Science, June, p. 666-669, 1967.

Рукопись поступила в издательский отдел

23 июля 1971 года.



Резонатор дебанчера - модулятора энергии инжектора.