

индекс 3624

ԵՐԵՎԱՆԻ ՖԻԶԻԿԱԿԱՆ ԻՆՏԻՏՈՒՏ  
ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

ЕФИ-330(55)-78

Г.А.ГАМБАРЯН, В.Т.НАРИНЯН, В.Ц.НИКОГОСЯН  
А.Р.ТУМАНЯН.

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ  
ИНТЕНСИВНОСТИ МЕТОДОМ РЕЗОНАНСНОГО  
РАЗРУШЕНИЯ ПУЧКА В СИНХРОТРОНЕ



1978

Принцип работы устройства для регулирования интенсивности, основанного на методе резонансного частичного разрушения ускоряемого пучка в синхротроне, и его особенности описаны в работе [1]. Из рассмотрения принципа работы указанного устройства очевидно, что, для осуществления качественного регулирования, т.е. с минимальной нестабильностью отрегулированного (заданного) значения интенсивности ускоренного пучка, необходимо достоверное знание зависимости

$$H_{раз} = f(I_{нач.}) \quad (1)$$

при заданном  $I_{заг} = const$  или требуемом значении интенсивности ускоренного пучка, где  $H_{раз}$  - значение напряженности магнитного поля в высокочастотном (вч) магните, расположенного в одном из прямолинейных промежутков синхротрона и предназначенного для резонансной раскачки амплитуд бетатронных колебаний частиц,  $I_{нач}$  - значение начальной интенсивности захваченного в ускорение пучка до момента начала разрушения.

В связи с этим были проведены исследования различных режимов резонансного разрушения пучка с целью определения, во-первых, условий, при которых функция (1) достаточно линейна, во-вторых, практических пределов регулирования с помощью ука-

занного устройства и в-третьих, возможностей корректировки указанной функции.

С этой целью, сначала, были измерены величины  $J_{пот}$ ,  $J_{нач}$ ,  $H_{раз}$ , в отдельных циклах и при нескольких режимах ускорения, где  $J_{пот}$  - значение потерянной или разрушенной части интенсивности ускоряемого пучка. При этом, режим ускорения настраивался таким образом, чтобы получить возможно максимальную неустойчивость значений  $J_{нач}$ , так как значения интенсивности захваченного в ускорение пучка не варьировалось искусственно, а просто фиксировались его естественные изменения от цикла к циклу ускорения. Поэтому диапазон изменения  $J_{нач}^i$  ограничен в пределах  $J_{мин}^i < J_{нач}^i < J_{маx}^i$  и неодинаков для разных режимов настройки. Измерение значений  $H_{раз}$  осуществлялось с погрешностью не более 1%, а измерение значений интенсивностей пучков с точностью 5%.

По измеренным величинам построены графики зависимостей

$$J_{пот} = f(H_{раз}) \quad (2)$$

для некоторых значений  $J_{нач}$  (см.рис.1а). При этом необходимо отметить, что значения  $J_{пот}^i$  неоднозначно связаны с величинами  $H_{раз}^i$  и  $J_{нач}^i$ , а зависимы в некоторой области значений  $J_{пот}^i \pm \Delta$ . Это предопределяется самим механизмом резонансного разрушения пучка и при этом разброс значений  $\frac{\Delta}{J_{пот}^i}$  не превышает 10% (на рис.1а приведены усредненные значения зависимостей типа (2)),

Далее, на основании экспериментально полученной зависимости (2), для удобства анализа, рассчитаны функции

$$\frac{\Delta J_{пот}}{\Delta H_{раз}} = f(H_{раз}) \quad (3), \quad J_{ост} = f(H_{раз}), \quad (4)$$

где  $J_{ост} = J_{нач} - J_{пот}$ , графики которых приведены, соответственно, на рис.1б и 1в. После этого нетрудно получить окончательную и необходимую зависимость (1) для дискретно заданных значений  $J_{заг}$  в требуемом диапазоне (см.рис.1г). При этом, все графики, приведенные на рис.1а-1г, построены только для одного режима настройки ускорения (для данного случая:  $(4ma = J_{мин} < J_{нач} < J_{маx} = 8ma)$ ). Для других режимов, т.е. для других значений  $J_{мин}$  и  $J_{маx}$  необходимо проведение аналогичных измерений и анализа.

На Ереванском синхротроне в течение длительного времени были проведены многочисленные измерения при различных режимах ускорения и при достаточно разных состояниях синхротрона (непосредственно после больших профилактик, когда качество вакуума относительно невысокое и многие узлы синхротрона недостаточно отретенированы или перед профилактикой, когда весь ускоритель находится в лучшем состоянии и т.д.), а также были проведены измерения в зависимости от режимов разрушения пучков и в разные моменты цикла ускорения. Из этой большой серии измерений в данной работе приводятся и рассматриваются наиболее характерные полученные зависимости, в основном, типа (1).

Графики, приведенные на рис.1а-1д, характеризуют наиболее оптимальный режим для целей регулирования интенсивности указанным способом. В этом режиме, при изменении значений  $J_{нач}$

(при данном  $J_{max}$  и  $J_{min}$ ) соответственно изменяются длительности интервала времени разрушения пучка, что характеризует, в некотором отношении, изменения поперечных размеров разрушаемого пучка. Выявление такого режима можно, грубо и оперативно, осуществлять по осциллограммам продифференцированных сигналов интенсивности разрушаемого пучка (рис.1д.). Каждый из сигналов, показанных на осциллограмме, представляет из себя зависимость

$$\frac{dJ_{пот}}{dt_{раз}} = f(t),$$

которая при постоянном значении амплитуды  $H_{раз}$  и значении  $t_g$  - времени действия вч возмущения с некоторой достоверностью характеризует зависимость (3) (см.рис.1б). Это очевидно, так как при резонансном возмущении пучка, его смещение, скажем по  $Z$ , пропорционально

$$Z = \alpha (H_{раз} \cdot t_g) = \alpha [H_{раз} (t_H + t_{раз})],$$

где  $\alpha$  - коэффициент пропорциональности,  $t_{раз}$  - время полного разрушения пучка и  $t_H$  - интервал времени начальной раскочки, т.е. интервал времени от начала действия возмущения до начала разрушения пучка.

Для первого случая режима разрушения пучка основные зависимости типа (1) представлены на рис.1г. Линеаризация, методом наименьших квадратов, группы таких зависимостей позволяет описать их одним линейным уравнением в общем виде:

$$H_{раз} = (K_1 J_{заг}^i + K_2) J_{нач} + (\alpha - K_3 J_{заг}^i). \quad (5)$$

Для первого режима, использование линеаризованных в диапазоне регулирования интенсивности  $0,05 + 0,8 J_{max}$  зависимостей приведет к нестабильности отрегулированного значения интенсивности не более  $\pm 5,0\%$ . При этом, линейное уравнение для этого случая имеет вид:

$$H_{раз} = 0,019 J_{нач} + (2,24 - 0,078).$$

Отсюда видно, что постоянный член уравнения зависит только от значения  $J_{заг}$ . Поэтому, в аппаратуре для регулирования интенсивности методом частичного резонансного разрушения пучка, необходимо предусмотреть возможность изменения уровня постоянной составляющей (пьедестала) величины  $H_{раз}$  для обеспечения оперативного изменения заданного значения  $J_{заг}$ . Кроме того, хотя и коэффициент при  $J_{нач}$ , в данном случае, не зависит от значения  $J_{заг}$ , однако в аппаратуре также необходимо предусмотреть возможность некоторой корректировки коэффициента усиления значения  $J_{нач}$  [2], что облегчит точный подбор коэффициента для обеспечения высокой стабильности отрегулированного значения интенсивности.

Графики, приведенные на рис.2а и осциллограмма на рис.2б, характеризуют режим резонансного разрушения пучка почти аналогичный первому, но при этом имеются "провалы" в серединах функций (3), что видно и на осциллограмме (см.рис.2б). Это приводит к увеличению зависимости коэффициента при  $J_{нач}$  в выражении (5) при линеаризации зависимостей (1) и к уменьшению

диапазона регулирования до 25%. В таких случаях желательно перестраивать режим разрушения пучка, либо вводить нелинейность в коэффициенте усиления устройства разрушения, что приведет к аппаратным усложнениям.

На рис.3 и 4 приведены графики, характеризующие еще два часто встречающихся режима разрушения пучка. Оба режима нежелательны для использования устройства регулирования интенсивности, так как в этих случаях, в зависимостях (I) появляются участки с отрицательной крутизной, корректировка которых приведет также к существенным аппаратным усложнениям.

Кроме приведенных режимов разрушения пучка существует многообразие других режимов, которые в той или иной мере являются сочетаниями уже рассмотренных. Но они являются менее характерными и их появление обуславливается различными погрешностями настройки режимов ускорения и разрушения пучка, таковыми как, прохождение пучка через различные резонансы, неточная установка резонансной частоты разрушающего поля и т.д. При этом, необходимо отметить, что момент разрушения пучка по циклу ускорения не влияет на характер разрушения. Также необходимо отметить, что повторяемость результатов измерений существенно зависит от абсолютного значения начальной интенсивности  $J_{нач}$  ускоряемого пучка. Высокая повторяемость результатов наблюдалась при  $J_{нач} > 3$  ма.

Попытки строгого и однозначного определения зависимости режимов разрушения пучка от параметров настройки ускорителя не увенчались успехом. Каждый получаемый режим разрушения обязан различному сочетанию изменений нескольких параметров

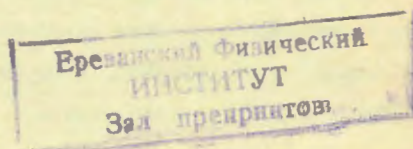
настройки ускорения. Однако, практически было обнаружено, что переход от любого режима к режиму, характеризуемого рисунком I, можно осуществить подстройкой только некоторых параметров ускорения, а именно, угла входа инжектируемого пучка в синхротрон, уровня постоянной составляющей ускоряющего поля в резонаторах, момента инъекции пучка и системы локальной коррекции орбиты инжектированного пучка. Такая подстройка практически осуществляется в течение нескольких минут, что и способствует успешному использованию метода резонансного разрушения пучка для регулирования интенсивности с достаточно высокой стабильностью отрегулированного значения тока ускоренного пучка.

В заключение, авторы выражают благодарность Симоняну Х.А. за участие в обсуждениях и Саркисяну Л.А. за помощь в обработке результатов исследований.

ЛИТЕРАТУРА

И. В.Т.Наринян и др. Труды V Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц, II, 135, Москва, "Наука", 1977.

Рукопись поступила 8-го августа 1978 г.



Редактор Л.П.Мукаян  
Тех.редактор А.С.Абрамян

Заказ 412 ВФ-03478 Тираж 299  
Подписано к печати 2/XI-78 г. Формат издания 60x80/16  
0,8 уч.изд.л. Ц. 6 к.

Издано Отделом научно-технической информации  
Ереванского физического института, Ереван 36, пер.Маркарян 2