

СЗУ5ЕЗ  
Г-25

23/211-73

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА



2692/2-73

9 - 7127

В.Я.Гвоздев, Л.Н.Зайцев,  
И.Б.Иссинский, А.П.Крячко

ИЗМЕРЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ  
МЕДЛЕННОГО ВЫВОДА ПУЧКА  
ИЗ СИНХРОФАЗОТРОНА

**1973**

ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

9 - 7127

В.Я.Гвоздев, Л.Н.Зайцев,\*  
И.Б.Иссинский, А.П.Крячко

**ИЗМЕРЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ  
МЕДЛЕННОГО ВЫВОДА ПУЧКА  
ИЗ СИНХРОФАЗОТРОНА**

Направлено в журнал "Particle Accelerators"

---

\* Московский инженерно-физический институт

Существуют два способа определения эффективности вывода:

1/ по отношению числа частиц, выведенных из камеры  $I_B$ , к полному числу ускоренных частиц  $I_0$

$$E_f = I_B / I_0; \quad /1/$$

2/ по отношению числа частиц, оставшихся в камере после вывода  $I_L$ , к полному числу ускоренных частиц

$$E_f = 1 - I_L / I_0 \quad /2/$$

/поскольку  $I_B = I_0 - I_L$  /.

При эффективности вывода, приближающейся к 100%, первый способ требует очень высокой точности измерений величин, входящих в выражение /1/. Однако существующие датчики для измерения интенсивности выведенных и циркулирующих пучков дают погрешность не менее  $5 \div 10\%$  /1/.

Второй способ допускает измерения величин  $I_L$  и  $I_0$  с погрешностью такого порядка, и при этом, согласно выражению /2/, эффективность можно определить с гораздо большей точностью. Однако в этом случае возникает трудность измерения небольшой доли частиц, рассеянных на выводных устройствах или элементах камеры ускорителя.

В /2/ величина  $I_L$  измерялась с помощью ионизационных камер, прокалиброванных по абсолютной величине потерь протонов на элементах системы медленного вывода. Сравнительно сложная процедура калибровки камер обусловила значительную погрешность при измерении  $I_L$ .

В данной работе предложена методика измерения эффективности вывода, основанная на том положении, что суммарная активность различных пороговых детекторов, расположенных по всему кольцу ускорителя, пропорциональна полному числу потерянных в ускорителе протонов /3/. Это утверждение было нами проверено на синхрофазотроне ОИЯИ путем измерения суммарного числа импульсов  $\bar{N}_\Sigma$ , вызванных потоками вторичных частиц в сцинтилляционных детекторах, установленных вокруг ускорителя:

$$\bar{N}_\Sigma = \sum_{i=1}^k \frac{\Delta s}{S} N_i a_i, \quad /3/$$

где  $\bar{N}_i$  - среднее число импульсов за цикл для  $i$ -го датчика ( $i = 1 \dots k$ );  $a_i$  - коэффициент относительной градуировки датчика в потоке вторичного излучения /4/;  $S$  - периметр расположения датчиков;  $\Delta s$  - расстояние между датчиками.

Величина  $\bar{N}_\Sigma$  определялась для различных режимов сброса пучка на тонкие и толстые мишени, а также при сворачивании пучка на стенки камеры. Измерения были сделаны "Системой контроля потерь частиц" /4,5/ во временном интервале длительностью  $\approx 300$  мсек в конце цикла ускорения при постоянной интенсивности  $I_0$ . При этом датчики располагались как с наружной, так и внутренней стороны камеры. Суммарное значение  $\bar{N}_\Sigma$  определялось по 30 + 4 точкам /четыре измерения были дополнительно сделаны в районе септум-магнита/, которые были получены путем сдвига 15 счетчиков по азимуту на  $\approx \Delta s/2$ .

Было установлено, что во всех случаях суммарное число импульсов, определяемое согласно выражению /3/, оставалось постоянным в пределах  $\pm 5\%$ .

Таким образом, при работе системы вывода датчиками будет зарегистрирована величина, соответствующая доле пучка частиц, не выведенной из ускорителя, а при выключении системы - полной интенсивности ускоренного пучка.

В дальнейшем представляются две возможности получить отношение  $I_L / I_0$ . Первая состоит в измерении числа  $\bar{N}_\Sigma^L$ , соответствующего заданной интенсивности  $I_0$  при включенной системе вывода. После ее выключения интенсивность пучка в ускорителе должна быть снижена до уровня  $I_{0L}$ , при котором суммарный счет станет равным  $\bar{N}_\Sigma^L$ . В этом случае  $I_L = I_{0L}$ .

Этот путь предпочтителен при условии, если измерение интенсивности циркулирующего пучка делается со сравнительно небольшой погрешностью.

При определении этим способом эффективности медленного вывода из синхрофазотрона [6,7] предварительно была получена зависимость  $\bar{N}_\Sigma$  от  $I_0$ , показанная на рис. 1. Величина  $I_L$  бралась из графика в соответствии с суммарным счетом  $\bar{N}_\Sigma^L$  при включенной системе вывода. Погрешность эффективности  $\pm 5\%$  была обусловлена в основном погрешностью в интенсивности, измеряемой пикап-электродами.

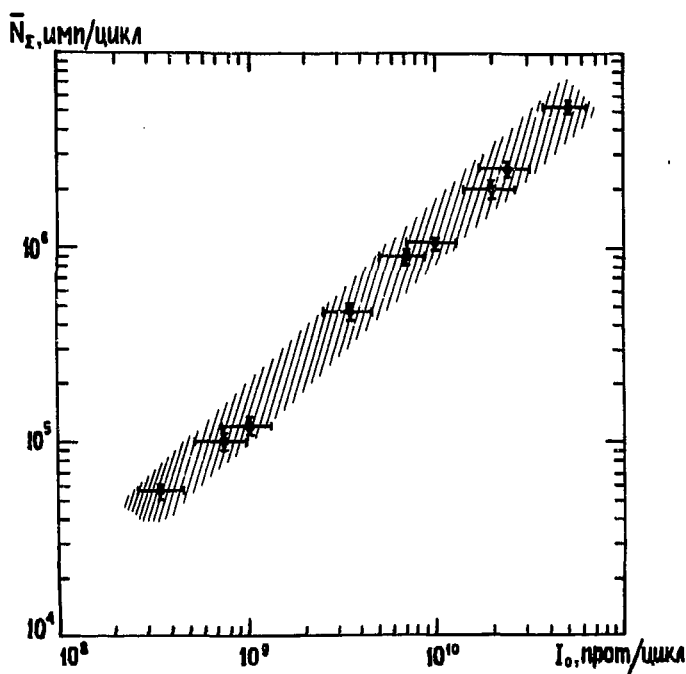


Рис. 1. Зависимость суммарного счета числа импульсов от интенсивности синхрофазотрона.

Второй путь заключается в поочередном измерении счета  $\bar{N}_{\Sigma}^L$  с работающей системой вывода и без вывода -  $\bar{N}_{\Sigma}^0$  при постоянной интенсивности пучка в ускорителе. Это дает возможность заменить отношение  $I_L/I_0$  в выражении /2/ на отношение  $\bar{N}_{\Sigma}^L/\bar{N}_{\Sigma}^0$ , если показания датчиков линейны в диапазоне от  $\bar{N}_{\Sigma}^L$  до  $\bar{N}_{\Sigma}^0$ :

$$E_f = 1 - \bar{N}_{\Sigma}^L / \bar{N}_{\Sigma}^0. \quad /4/$$

Основные измерения эффективности медленного вывода на синхрофазотроне были выполнены последним способом, что дало  $E_f = 94 \pm 0,5\%$ .

На рис. 2 приведен график распределения потоков излучения вторичных частиц

$$F(s) = \frac{\Lambda s}{s} \bar{N}_i a_i, \quad /5/$$

полученных в режиме вывода /гистограмма 1/ и сворачивания пучка на септум первого выводного магнита /гистограмма 2/. Измерения проводились за несколько циклов при стабилизированной интенсивности ускорителя. При этом ее среднеквадратичная статистическая ошибка не превышала  $\pm 2\%$ .

Статистическая погрешность при счете числа импульсов изменялась для различных счетчиков от  $\pm 0,15$  до  $\pm 10\%$ . Однако поскольку величина  $\bar{N}_{\Sigma}$  определяется в основном вкладами  $\bar{N}_i$ , близкими к максимальному значению  $F(s)$ , вклад в ошибку измерения этих величин за счет статистических средневзвешенных погрешностей составил  $\pm 1,5\%$  для  $\bar{N}_{\Sigma}^L$  и  $\pm 0,4\%$  для  $\bar{N}_{\Sigma}^0$ .

Погрешность при определении градуировочного коэффициента  $a_i$  составляла  $\pm 0,6\%$ . Просчеты схем при потоках вторичного излучения  $\approx 10^6$  частиц за 300-400 мсек /время вывода/ не превышали  $5 \cdot 10^3$ , т.е.  $0,5\%$ . Эта погрешность занижает величину измеренной эффективности.

Погрешность величины  $\bar{N}_{\Sigma}$  зависит от числа датчиков, расположенных по кольцу ускорителя. Как было сказано выше, эта погрешность лежит в пределах  $\pm 5\%$ .

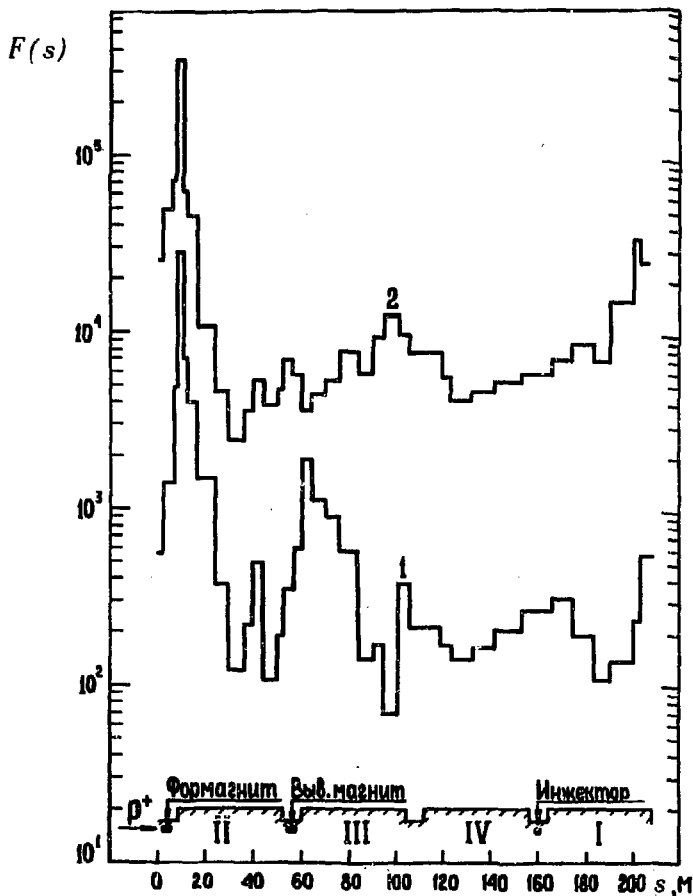


Рис. 2. Счет числа импульсов в зависимости от азимута синхрофазотрона /измерено 34 датчиками при толщине дельта-пластин  $0,6 \text{ г/см}^2$ ; 1 - в режиме медленного вывода; 2 - при сбросе на септум первого выводного магнита/.

Общая погрешность при измерении эффективности, определяемая перечисленными выше погрешностями, в соответствии с зависимостью /4/ составила  $\pm 0,52\%$ .

Из рис. 2 видно, что основным источником вторичных частиц является септум первого магнита. При первоначальных измерениях пучок проходил через измерительные дельта-пластины толщиной  $2 \text{ г/см}^2$ , установленные на входе второго внутреннего магнита, что снижало эффективность до  $92,2\%$ . После уменьшения толщины

пластин до  $0,6 \text{ г/см}^2$  величина эффективности повысилась до приведенного выше значения. Однако, как следует из рис. 2 /зависимость 1/, система измерения достаточно чувствительна, чтобы локально выделить эти потери, составляющие несколько десятых долей процента.

Согласно расчету /6/, потери пучка на септуме составляют 3-4%, если принять его эффективную толщину около 5 мм /7/. Оценка потерь на дельта-пластинах дает  $\approx 0,8\%$ . Кроме того, при циркуляции пучка за время  $\approx 300$  мсек в синхрофазотроне теряется еще несколько десятых процента интенсивности /4/. Поэтому можно считать, что расчетное и измеренное значения эффективности согласуются вполне удовлетворительно.

Авторы благодарят И.Ф.Колпакова, Г.С.Казанского, О.Н.Цисляка и В.Б.Хвостова за помощь в работе, а также признательны В.В.Фролову, Л.Р.Кимелю и В.П.Сидорину за советы при обсуждении рукописи этой статьи.

### Литература

1. Ch.Iselin. CERN. MPS-SI/Note, MAE/68-2, 1968.
2. Y.Baconnier, O.Barbalat, D.Dekkers. Труды VII Международной конференции по ускорителям заряженных частиц. Ереван, 1969, стр. 565.
3. W.S.Gilbert et al. UCRL-17941, 1968.
4. В.Я.Гвоздев и др. ОИЯИ, Р16-6433, Дубна, 1972.
5. М.П.Белякова и др. Труды VI Международного симпозиума по ядерной электронике. Варшава, 1971, стр. 370.  
/ОИЯИ, Д13-6210, 1971/.
6. Б.В.Василишин и др. ОИЯИ, Р9-6972, Дубна, 1973.
7. Б.В.Василишин и др. ОИЯИ, Р9-6973, Дубна, 1973.

Рукопись поступила в издательский отдел  
28 апреля 1973 года.