

Вывод протонного пучка в диапазоне энергий 200÷1300 МэВ из бустера ИФВЭ для прикладных исследований

В.И. Безкровный, А.С. Гуревич, Г.А. Лосев, Ю.В. Миличенко, В.А. Пономаренко, Н.И. Правоторов, Г.А. Саматов, В.И. Столповский, П.И. Угорич, А.В. Феофилов
ГНЦ РФ Институт физики высоких энергий, Протвино, Россия

Быстроциклический протонный синхротрон (бустер ИФВЭ) входит в состав ускорительного комплекса ИФВЭ, являясь инжектором пучка в ускоритель У-70 [1]. Пучок в бустере ускоряется от энергии 30 МэВ до энергии 1,32 ГэВ. Бустер работает в пакетно-импульсном режиме с частотой повторения импульсов 16,6 Гц при частоте следования пакетов $\sim 0,1$ Гц. Количество импульсов в пакете может изменяться, но не превышает 32. Первые три импульса служат для тренировки и выхода на стационарный режим ряда технологических систем, остальные используются для ускорения пучка. В зависимости от режима работы в бустере может быть ускорено за один цикл от $2,0 \cdot 10^{11}$ до $9,0 \cdot 10^{11}$ протонов.

В существующей схеме вывода имеются две ветви выводного канала. По одной из них пучок транспортируется в основной ускоритель, по другой выводится на поглотитель, представляющий собой стальной куб со стороной 2,6 м. В конце прямой ветви канала, направленной на поглотитель, имеется экспериментальная зона, где можно устанавливать оборудование и вести исследования с пучком.

В последние годы вырос интерес к использованию бустерного пучка для облучения различных композиционных и однородных материалов. При этом возникли задачи, для решения которых оказался недостаточным освоенный диапазон 800÷1300 МэВ [2] и требовалось снижение нижней границы области энергий выводимого пучка.

Схема вывода пучка из бустера показана на рис. 1. Вывод пучка осуществляется с помощью трех бамп-магнитов БМ-1 ÷ БМ-3, септум-магнита СМ-2 и ударного магнита УМ-1. Л-14, Л-15 и М-5 обозначают соответственно квадрупольные линзы и поворотный магнит. Бамп-магниты создают локальное искажение орбиты, а ударный магнит забрасывает пучок в зазор СМ-2. Запуск УМ-1 синхронизируется с фазой ускоряющего ВЧ-напряжения, так чтобы в момент вывода передний фронт нарастания тока ($\tau \sim 100$ нс) помещался в часть оборота, не содержащую пучка. Стабильность работы выводных устройств в пакете импульсов находится на уровне $10^{-3} \div 10^{-2}$.

Была проведена модернизация системы питания трех выводных бамп-магнитов. Технические решения свелись к изменению проектных схем питания и стабилизации источников с расширением диапазона динамического регулирования токов в магнитах. Также были внесены изменения в схему управления выводного ударного магнита УМ-1.

Новые режимы вывода изучались и оптимизировались на промежуточных энергиях в диапазоне 200÷1300 МэВ. Точность установки энергии определялась измерениями частоты обращения пучка, при этом относительная ошибка $\Delta W/W$ не превышала значений $2,4 \cdot 10^{-3}$ на нижней и $5,9 \cdot 10^{-4}$ на верхней границах диапазона. Пучок выводился на поглотитель, его размеры измерялись с помощью профилометра, указанного на рис. 1.

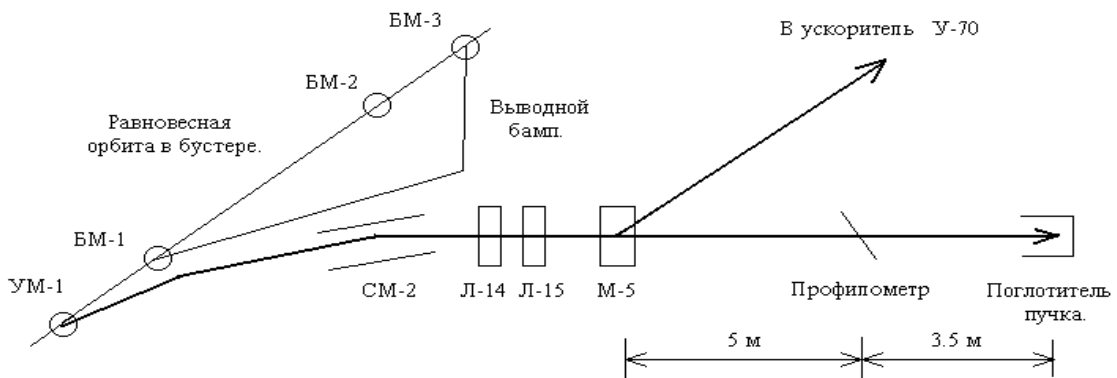


Рис. 1. Схема вывода пучка из бустера.

Диагностические устройства в выводных каналах, и в частности используемый профилометр, не рассчитаны на измерение широких пучков. Поэтому на пониженных энергиях края распределения частиц могли выходить за границы контролируемой апертуры. Горизонтальные профили пучка при энергиях 300 и 1300 МэВ показаны на рис. 2. Вертикальный профиль для энергии 1300 МэВ изображен на рис. 3. Нижняя шкала рисунков имеет дискретность в 6 мм, что соответствует шагу ламелей датчика профилометра, сигналы с ламелей нормированы на их максимальную величину.

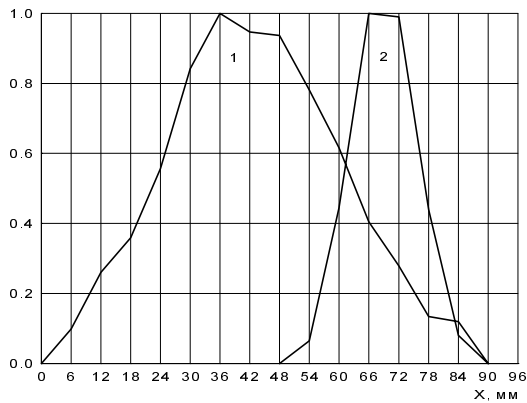


Рис. 2. Горизонтальные профили пучка при энергиях 300 МэВ (1) и 1300 МэВ (2).

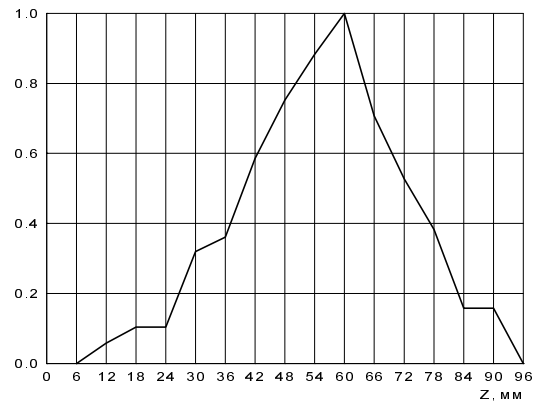


Рис. 3. Вертикальный профиль пучка при энергии 1300 МэВ.

По размерам пучка, взятым на уровне $\sim 95\%$ полной интенсивности, определялись эмиттансы E_x и E_z . В обработке использовались только результаты измерений, при которых профиль пучка полностью помещался на датчике. Характер изменения эмиттансов с ростом энергии представлен на рис. 4. Эмиттансы пучка с энергией 1300 МэВ составляют $E_x = 25 \pi$ мм·мрад и $E_z = 14 \pi$ мм·мрад. Начальная точка графика (1), полученная при энергии 250 МэВ, свидетельствует о подрезке широкого пучка в апертуре септум-магнита. Измерения эффективности вывода (рис. 5) подтверждают это. С уменьшением энергии от 300 до 200 МэВ потери пучка заметно возрастают.

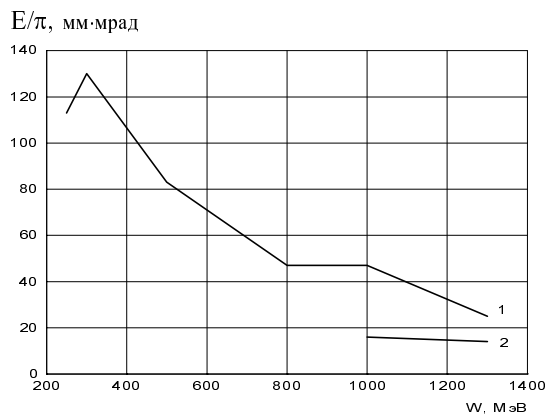


Рис. 4. Поведение горизонтального E_x/π (1) и вертикального E_z/π (2) эмиттансов пучка.

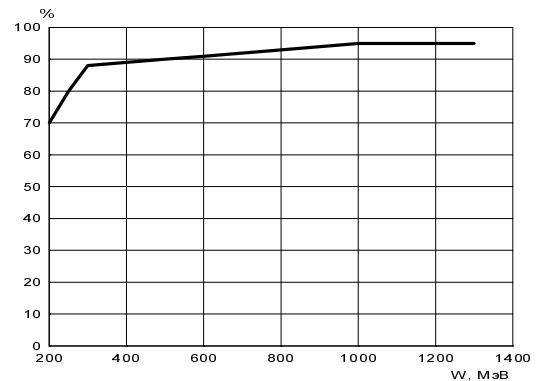


Рис. 5. Эффективность вывода пучка в зависимости от энергии.

Новые возможности бустера уже нашли свое применение. В рамках внутренних программ ИФВЭ проведены эксперименты по облучению алюминиевых фольг протонами в диапазоне энергий выводимого пучка 350÷1300 МэВ.

Список литературы

- [1] Алеев Е.А., Брук В.Л. и др. – В сб.: Труды IX Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. – Дубна, 1985, т. 1, с. 14.
- [2] Безкровный В.И., Гуревич А.С. и др. – В сб.: Труды XV Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. – Протвино, 1996, т. 2, с. 327.