

# Измерение эффективности инъекции пучка из ускорителя У-70 в УНК-1

А.В.Василевский, В.И.Терехов

*ГНЦ РФ Институт физики высоких энергий, Протвино, Россия*

В ИФВЭ разрабатывается система для измерения эффективности перевода пучка из У-70 в УНК-1, основанная на использовании 5 быстрых трансформаторов тока (ТТ), измеряющих интенсивность пучка в соответствующие моменты времени при инъекции. На циркулирующем пучке в У-70 и УНК-1 устанавливают по одному ТТ, а три — в канале перевода (в начале, середине и конце). Такая конфигурация позволит рассчитывать эффективности всех физических стадий при инъекции: перегруппировки, вывода из У-70, транспортировки и ввода пучка в УНК-1. Ожидаемая точность 0,5% адекватна допустимым потерям пучка в рабочем диапазоне интенсивностей. В этой работе кратко описана идеология измерения, даются предложения по повышению точности, обсуждаются конструкция ТТ, электронная аппаратура и процедуры калибровки.

## Введение

Инъекция в УНК-1 осуществляется переводом протонного пучка интенсивностью до  $5 \cdot 10^{13}$  частиц в импульсе из ускорителя У-70 по каналу инъекции (КИ) длиной свыше 3 км. Процесс перевода складывается из нескольких физических стадий. Сначала в У-70 производится разгруппировка сбанчиванного на 6 МГц пучка, ускоренного до 64,6 ГэВ, в результате чего снижается его импульсный разброс. При этом некоторое количество частиц с завышенным импульсом будет потеряно. По окончании разгруппировки начинается процесс захвата протонов на частоте 200 МГц с последующим ускорением до 65 ГэВ и согласованием с сепаратрисой УНК-1, что также вызывает потери пучка, в основном из-за возникновения продольной неустойчивости. Суммарное время всей подготовки пучка для перевода может достигать до 300 мс, хотя отдельные стадии перезахвата укладываются в единицы миллисекунд.

Следующий этап перевода пучка — это быстрый однооборотный вывод в КИ с помощью пары полноапертурных ударных магнитов КМ14 и КМ16 и септум-магнитов ОМ62 и ОМ64. Для уменьшения потерь при выводе в циркулирующем пучке предусмотрен азимутальный разрыв в 200 нс, тем не менее реальная эффективность вывода не превысит 99% при точности измерения порядка 2%, как и при всяком быстром выводе [1]. КИ насыщен магнитооптическим оборудованием [2], и грубо его можно разбить на три части: головную, согласующую фазовый объем и дисперсионную функцию транспортируемого пучка с параметрами регулярной части, участок поворота и прямолинейный участок. Ввод пучка в УНК-1 производится отклоняющим септумом и полноапертурным кикером.

Каждая из перечисленных стадий перевода пучка из У-70 в УНК-1, в принципе, сопровождается потерями протонов по разным причинам. Суммарный уровень потерь

может доходить до нескольких процентов [3]. Это обстоятельство с учетом высокой интенсивности транспортируемого пучка ужесточает требования на его допустимые потери при переводе. Вот почему представляется весьма полезным при настройке и в штатном режиме контролировать как все отдельные эффективности физических стадий перевода пучка, так и обобщенный параметр эффективности перевода, равный их произведению. В данной работе описываются способ и технические средства такого контроля.

## Описание системы

Предлагается данную задачу решить с помощью 5 трансформаторов тока, установленных в соответствии с рис.1. По одному из них, быстрых (ТТ1 и ТТ2) с полосой пропускания не менее 15 МГц, установлены на ионопроводах обоих ускорителей. Два замера интенсивности циркулирующего пучка в У-70, сделанные непосредственно до и после перегруппировки, позволят рассчитать ее эффективность. При этом можно ожидать высокую точность, так как регистрируемые величины отличаются незначительно, а оба измерения произведены в одном измерительном тракте. Определение эффективности быстрого вывода традиционно производится посредством двух ТТ, измеряющих интенсивности циркулирующего и выведенного пучков. Даже при высокой степени идентичности характеристик этих трансформаторов получить погрешность ниже 1% практически невозможно из-за существенного различия измеряемых сигналов по частотному спектру.

Кардинальным способом повышения точности представляется установка ТТ1 таким образом, чтобы его апертура перекрывала как орбиту циркулирующего пучка, так и траекторию отклоненного (выведенного). При этом эффективность вывода измеряется также одним ТТ, регистрирующим интенсивность пучка в разные моменты: непосредственно до вывода и в момент вывода. Измеряемые сигналы не отличаются по спектру.

Прототип такого трансформатора с апертурой 190 мм изготовлен на основе сердечника из аморфного сплава с относительной магнитной проницаемостью порядка 30000. Он содержит 8 витков при времени нарастания переходной характеристики 7 нс и будет установлен в 28ПП ускорителя У-70 для испытаний при быстром выводе пучка в экспериментальную зону. Основными компонентами регистрирующей электроники являются восстановитель постоянной составляющей, быстрый 10-разрядный АЦП и устройство для "онкой" синхронизации.

Такой же подход целесообразно реализовать и с установкой ТТ5, что обеспечит прецизионные измерения эффективности ввода пучка из КИ в УНК-1. Уместно добавить, что использование одного импульсного ТТ при вводе/выводе пучка облегчает взаимную калибровку всех измерителей интенсивности ускорительного комплекса.

Теоретические исследования методических погрешностей определения эффективностей перезахвата и ввода/вывода позволяют надеяться на точность на уровне десятых долей процента. Что касается измерения эффективности транспортировки пучка по каналу, то подготовленная для физического запуска канала инъекции система измерения интенсивности в канале вполне способна решить эту задачу. В канале установлены три идентичных трансформатора тока ТТ2-ТТ4: по одному в начале и конце, а третий — в середине. Кратко система описана в работе [4]. Блок-схема аппаратуры

для одного ТТ приведена на рис.2. Здесь точность гарантируется выбором режима пассивного интегрирования и автоматической независимой калибровкой по эталонному электрическому заряду [5], генерируемому в каждом из 8 поддиапазонов рабочей интенсивности. Ожидаемая суммарная точность определения эффективности перевода пучка при реализации названных подходов составит примерно 0,5%, что адекватно допустимым потерям пучка в режиме работы с максимальной интенсивностью.

В заключение авторы выражают благодарность Ю.С.Федотову и В.А.Важенину за проявленный интерес.

### Список литературы

- [1] J.Cuperus. A beam transformer for measuring fast ejection efficiencies CERN PS/FES/72-6.
- [2] В.Т.Баранов и др. Система канала инжекции УНК. Препринт ИФВЭ 92-118. – Протвино, 1993.
- [3] Ускорительно-накопительный комплекс на энергию 3000 ГэВ (физическое обоснование). Препринт ИФВЭ 93-27. – Протвино, 1993.
- [4] V.Gotsev et al. Controlling the unk transfer line beam diagnostics. Proc. of the 3rd International Conference on Acceler. and Large Experimental Physics Control Systems, 1993.
- [5] Терехов В.И. Автореферат диссертации. Препринт ИФВЭ 91-175. – Протвино, 1991.

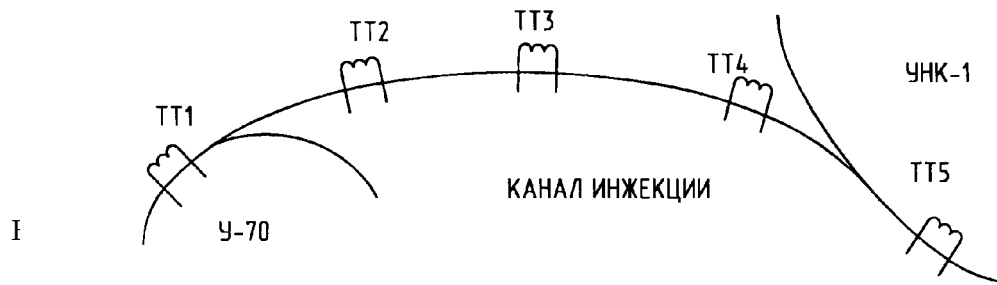


Рис. 1. Схематическое расположение трансформаторов тока для определения эффективности перевода пучка из Ч-70 в УНК-1.

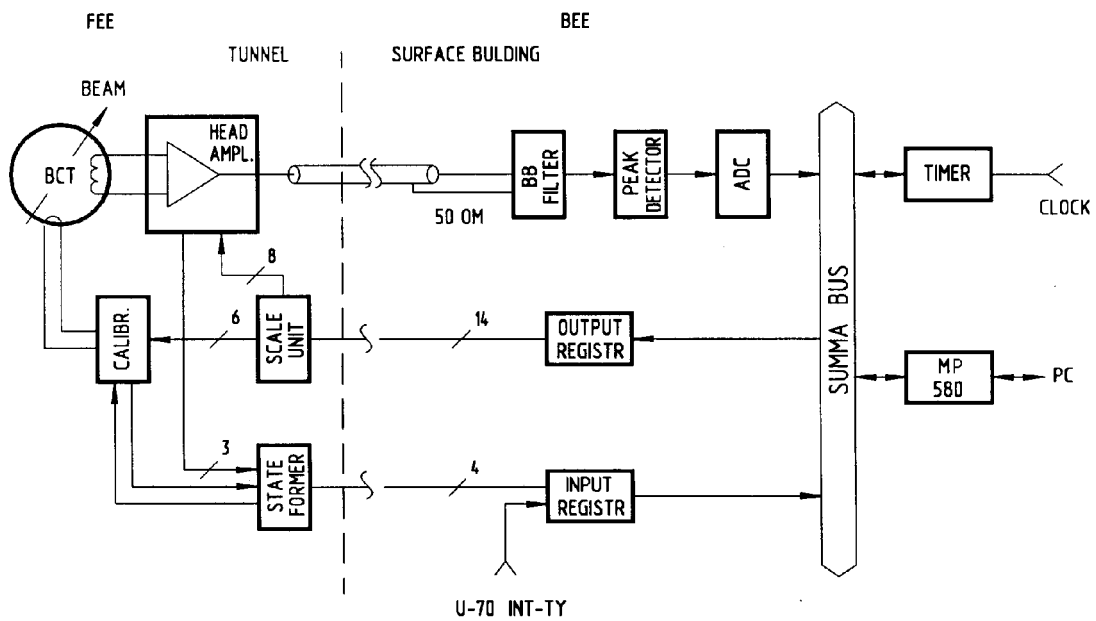


Рис. 2. Блок-схема измерения интенсивности в канале инжекции.