

## ИНЖЕНЕРНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЯДЕРНО-ФИЗИЧЕСКОЙ АППАРАТУРЫ

УДК 621.384.634.5, 621.3.038.616

### АППАРАТУРА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ЗАБРОСА ВЫВОДИМОГО СГУСТКА ПУЧКА В АПЕРТУРУ СЕПТУМ МАГНИТА СМ24 УСКОРИТЕЛЯ У-70

© 2025 г. Е. А. Сыщиков<sup>а</sup>, \*, И. В. Иванова<sup>а</sup>, В. И. Терехов<sup>а</sup>

<sup>а</sup>НИИЦ “Курчатовский институт” — ИФВЭ, Протвино, Московская обл., 142281 Россия

\*E-mail: eugeny.syshchikov@ihep.ru

Поступила в редакцию 15.05.2024 г.

После доработки 27.09.2024 г.

Принята к публикации 07.10.2024 г.

В ИФВЭ создан прототип аппаратуры для измерения радиального положения выбранного сгустка в апертуре септум-магнита СМ24 при быстром выводе пучка из синхротрона У-70. Двойное измерение, непосредственно перед выводом и в момент вывода, позволяет определить величину заброса сгустка в апертуру септума со случайной погрешностью не хуже 0.5 мм. Рассмотрена аппаратура и приведены результаты тестового испытания в реальных условиях.

**Ключевые слова:** радиальное положение, заброс сгустка, апертура септум-магнита

**DOI:** 10.56304/S207956292502006X

#### ВВЕДЕНИЕ

Быстрый вывод (БВ) пучка из ускорителя У-70 осуществляется посредством ударного магнита КМ16 и двух септум-магнитов [1]. Полноапертурный ударный магнит с использованием бампа перебрасывает пучок в апертуру септум-магнита СМ24 через его перегородку. Эффективность быстрого вывода определяется в значительной мере положением центра тяжести (ЦТ) отклоненного сгустка в апертуре СМ24 [2]. Эта величина определяется суммарной силой бампа и кикер-магнита КМ16. Для оптимизации оперативной настройки вывода представляется целесообразным контролировать не только положение центра тяжести отклоненного сгустка в апертуре, но и величину его заброса, т.е. силы кика. Величина заброса пучка  $D$  (рис. 1) в апертуру СМ24 определяется как разность положений центра тяжести одного и того

же сгустка непосредственно до вывода  $P_-$  и возбужденного КМ16 в момент вывода  $P_0$ , т.е.:

$$D = P_- - P_0. \quad (1)$$

Положение центра тяжести вычисляется по результатам измерений уровней сигналов с электродов  $A$  и  $B$  двухэлектродного электростатического датчика положения PU24 [3], установленного в прямолинейном промежутке ПП24 перед СМ24:

$$P_- = k \frac{V_A^- - V_B^-}{V_A^- + V_B^-}, \quad (2)$$

$$P_0 = k \frac{V_A^0 - V_B^0}{V_A^0 + V_B^0}, \quad (3)$$

где  $V_A^-, V_B^-$  — напряжения на электродах до вывода,  $V_A^0, V_B^0$  — напряжения на электродах в момент вы-

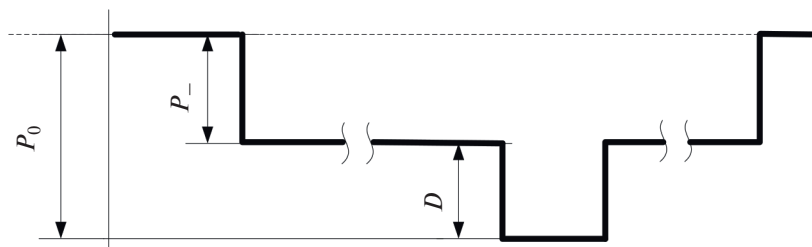
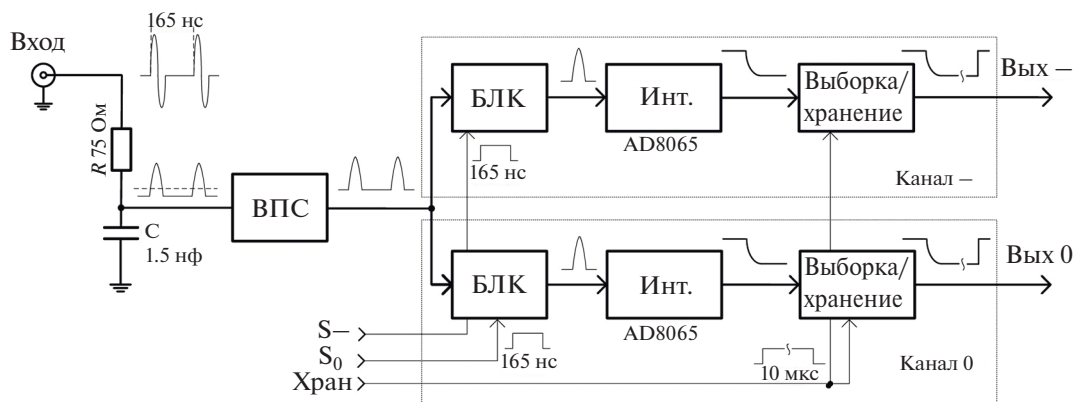
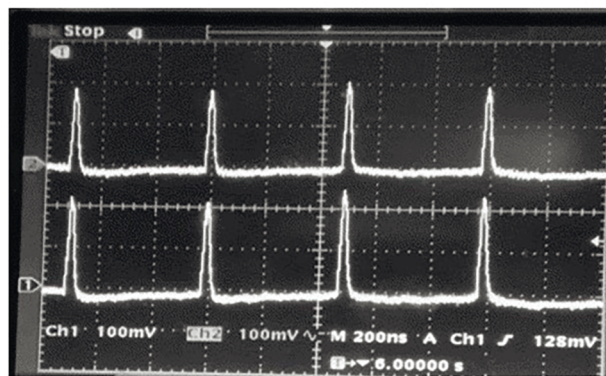
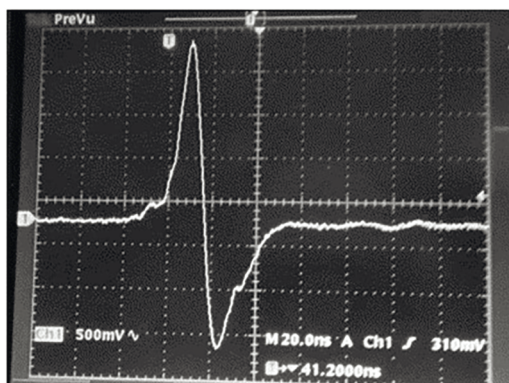


Рис. 1. Позиция центра тяжести выводимого сгустка в ПП24 при БВ.



**Рис. 2.** Упрощенная блок-схема измерительного канала для одного электрода. RC — пассивный интегратор (пост. времени  $\sim 110$  нс), ВПС — восстановитель постоянной составляющей, БЛК — быстрый линейный ключ, Инт. — интегратор, S — строб ключа (165 нс).



**Рис. 3.** Входные сигналы. Слева — дифференцированный сигнал с одного из электродов PU24; справа — восстановленные сигналы с электродов PU24.

вода,  $k$  — геометрический фактор датчика (для PU24  $k = 100 \pm 1.0$  мм).

## АППАРАТУРА

Обработка сигналов с электродов осуществляется в модуле двухканальной электронной аппаратуры. Упрощенная блок-схема одного канала представлена на рис. 2. Электроды PU24 нагружены непосредственно на широкополосный коаксиальный кабель РК75-7-11, при этом сигналы сильно дифференцированы с постоянной времени  $\sim 8$  нс (рис. 3). Для облегчения обработки использовано восстановление их формы с помощью пассивных RC-цепочек с постоянной времени  $\sim 110$  нс. Эти интегрирующие цепочки выполнены в коаксиальных переходниках. Восстановленный по форме сигнал через восстановитель постоянной составляющей (ВПС) поступает на два направления, соответственно до и в момент вывода. Пропущенный через быстрый линейный ключ (БЛК), стробируе-

мый импульсом длительностью 165 нс, регистрируемый одиночный сигнал интегрируется и подается на схему выборки-хранения. Таймирование электроники осуществляется при помощи ПЛИС Altera EPM3128ATC100, смонтированной на отдельной плате. Входными сигналами таймера являются серия ВЧ ускорителя и импульс “Запуск (FP)”, последний формируется и выбирается по номеру измеряемого сгустка в системе синхронизации быстрого вывода. Таймер вырабатывает два строб-импульса длительностью по 165 нс, через интервал времени 5.1 мкс (время обращения пучка в ускорителе, первый из них S— стробирует пару ключей до вывода, а второй S<sub>0</sub> другую пару в момент вывода (рис. 4).

На рис. 5 приведены осциллограммы, иллюстрирующие работу модуля в рамках одного измерительного канала в момент времени, соответствующего стробу S— (до вывода). Сигнал с восстановителя постоянной составляющей (луч 3) поступает на интегратор с постоянной времени 1 мкс, реали-

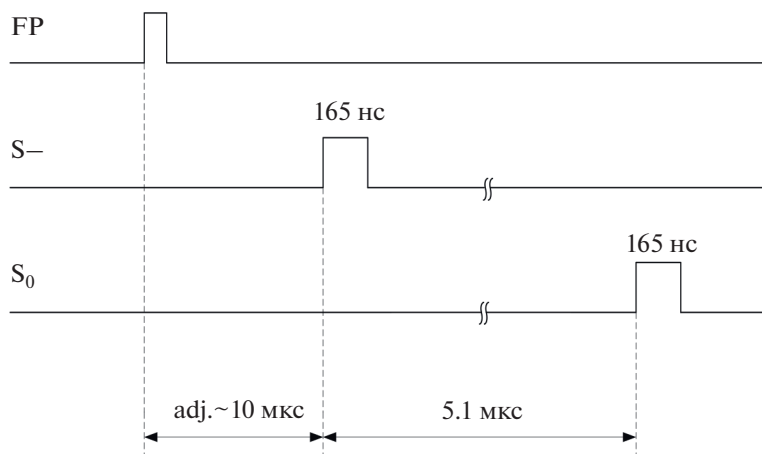


Рис. 4. Временная диаграмма строб-импульсов.

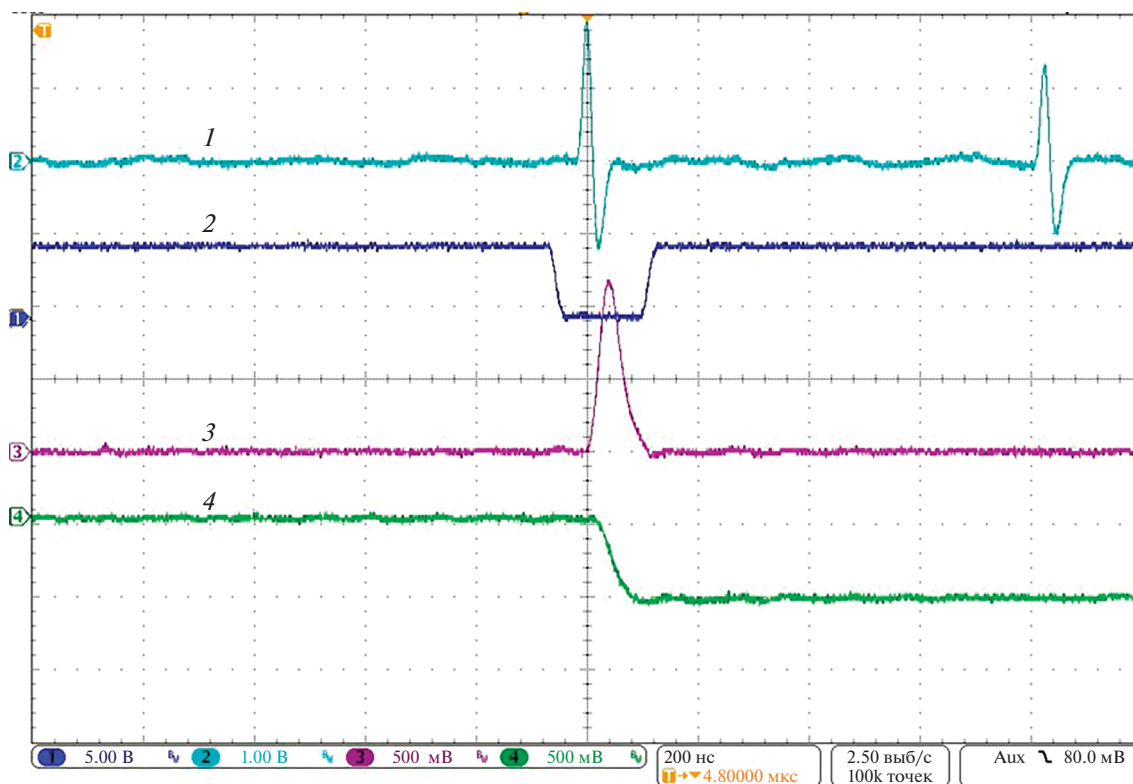


Рис. 5. Эпюры напряжений в базовых точках электронного модуля: 1 – входной, дифференцированный сигнал, 2 – строб, 3 – сигнал с ВПС, 4 – выход с интегратора.

зованный на операционном усилителе AD8065. Оцифровка напряжений с четырех выходов устройств выборки-хранения, идущих после интеграторов, осуществляется платой сбора данных NI PCI-6251. Дальнейшая обработка сигналов и отображение информации осуществляется средствами LabView. На рис. 6 приведены результаты измерений заброса при быстром выводе в 8 канал.

Здесь, Na- и Nb- уровни сигналов с обоих электродов до вывода, Na+ и Nb+ в момент вывода, D – величина заброса, P<sub>-</sub> и P<sub>0</sub> – положения ЦТ сгустка соответственно до и в момент вывода. Смещение ЦТ сгустка во время выключенного вывода зависит от работы бампа, величина смещения относительно равновесной орбиты составляет 38–40 мм. Во время включенного вывода значение

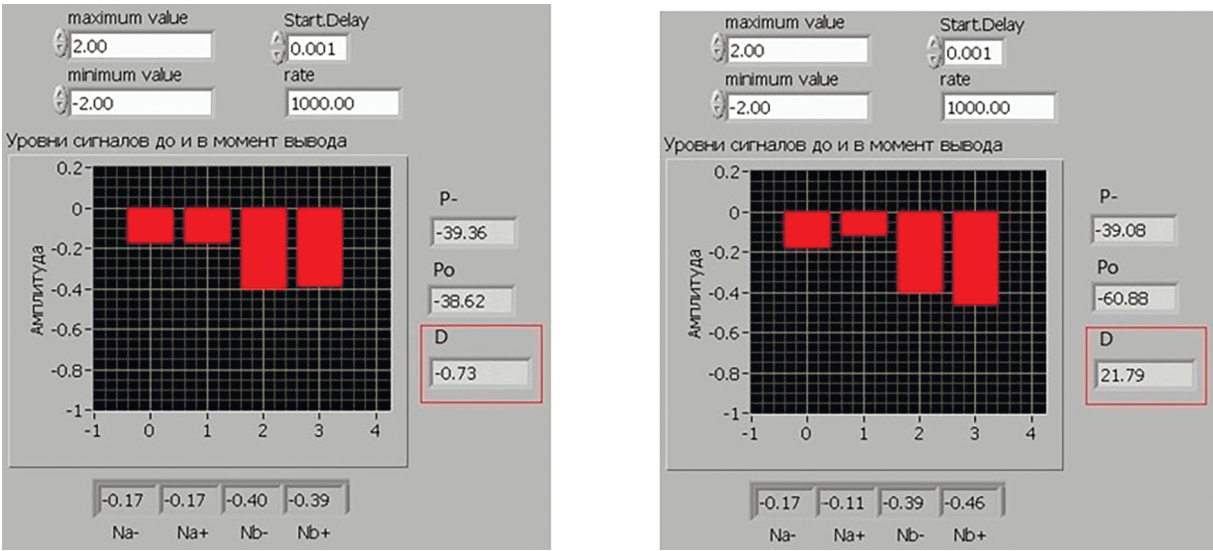


Рис. 6. Результаты измерений. Слева – вывод выключен; справа – вывод включен.

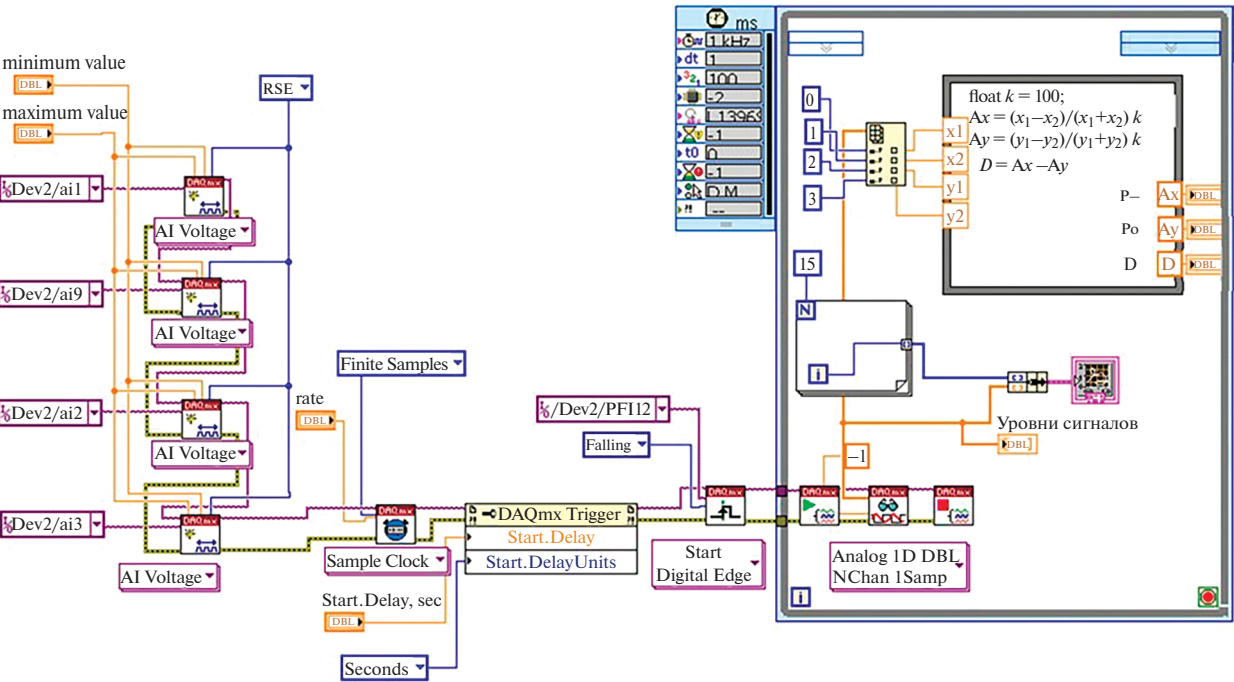


Рис. 7. Блок-схема программы измерений.

смещения ЦТ сгустка меняется в сторону увеличения. Величина заброса в данном случае составляет ~22 мм. На рис. 7 приведена блок-схема программы измерений, реализованная в среде LabView. Программа производит однократное измерение и обработку аналоговых сигналов со всех каналов в каждом суперцикле ускорителя, т.е. один раз в девять секунд. Запуск программы производится импульсом, формируемым платой таймера.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изготовлен макетный вариант электронного модуля, который был испытан на реальном пучке. Результаты испытаний соответствуют ожидаемым. Определение парциальных составляющих величин заброса оказалось весьма полезным для настройки данного режима вывода. Планируется ввести в эксплуатацию полномасштабный электронный модуль. В рамках работ по развитию для

перекрытия всего используемого динамического диапазона предполагается ввести прецизионные аттенюаторы в оба канала.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ/REFERENCES

1. Комаров В.В., Курнаев О.В., Меркер Э.А. и др. Система быстрого вывода протонов из ускорителя на 70 ГэВ. Препринт 72–98. 1972. Серпухов: ИФВЭ.
2. Афонин А.Г., Дианов В.И., Максимов А.В. Оптимизация схемы вывода протонного пучка из У-70. Препринт 92–121. 1992. Протвино: ИФВЭ.
3. Superus J., Fabiani F., Kamber I., Nuttall J. // IEEE Trans. Nucl. Sci. 1973. V. 20 (3) P. 523–527. <https://doi.org/10.1109/TNS.1973.4327167>

## Equipment for Measuring the Kick Strength of the Extracted Bunch into the Aperture of the Septum Magnet SM24 at U-70 accelerator

E. A. Syshchikov<sup>1, \*</sup>, I. V. Ivanova<sup>1</sup>, and V. I. Terekhov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>National Research Centre “Kurchatov Institute” — IHEP, Protvino, Moscow oblast, 142281 Russia

\*e-mail: [eugeny.syshchikov@ihep.ru](mailto:eugeny.syshchikov@ihep.ru)

Received May 15, 2024; revised September 27, 2024; accepted October 7, 2024

**Abstract**—A prototype equipment for measuring the radial position of the chosen proton bunch upstream of the septum magnet SM24 during the fast extraction at IHEP. The double measurement, made immediately before and at the time of the extraction, allows us to determine the amount of the kick strength into the aperture of the septum magnet with RMS deviation of less than 0.5 mm. In this presentation the equipment is reviewed and the results of a test in real conditions are presented.

**Keywords:** radial position, kick strength, aperture of the septum magnet