



**НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
«КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ»**

**Институт физики высоких энергий имени А.А. Логунова
Национального исследовательского центра
«Курчатовский институт»**

Препринт 2017–3

А.Г. Афонин, Е.В. Барнов, А.Я. Левин,
С.Ф. Решетников, М.Н. Уханов

**Развитие аппаратно-программных средств
системы медленного вывода с использованием
кристаллических дефлекторов на синхротроне У-70**

2017

Аннотация

Афонин А.Г. и др. Развитие аппаратно-программных средств системы медленного вывода с использованием кристаллических дефлекторов на синхротроне У-70: Препринт НИЦ «Курчатовский институт» – ИФВЭ 2017–3. – Протвино, 2017. – 11 с., 7 рис., библиогр.: 4.

Сообщается о развитии аппаратно-технических средств, обеспечивающих работу комплекса системы вывода пучков с использованием кристаллических дефлекторов на синхротроне У-70 ИФВЭ.

Abstract

Afonin A.G. et al. Development of hardwares and softwares systems to improve parameters high energy beams extracted by crystalline deflector on the synchrotron U-70 IHEP: NRC «Kurchatov Institute» – IHEP Preprint 2017–3. – Protvino, 2017. – p. 11, figs. 7, refs.: 4.

It is informed about the development of hardware and program means to ensure the working complex of extraction system with crystalline deflectors on the synchrotron U-70 IHEP.

Введение

Система медленного вывода пучков частиц высоких энергий с применением кристаллических дефлекторов является частью комплекса систем вывода (СВ) на синхротроне У-70 ИФВЭ наряду с системами быстрого, медленного резонансного вывода и вывода вторичных частиц с использованием внутренних мишеней. Кристаллический дефлектор представляет собой изогнутый кристалл кремния. Медленный вывод с помощью кристаллического дефлектора обладает рядом достоинств, что делает его весьма востребованным рядом физических установок [1]. Практическое применение этого режима вывода на ускорителе ИФВЭ началось в 1997 году на базе первых разработок станций кристаллических дефлекторов и систем управления. Развитие системы управления станциями кристаллических дефлекторов для удовлетворения вновь возникающих потребностей в течение длительного времени основывалось на принятых ранее технических решениях с незначительными усовершенствованиями. К настоящему времени система технически и морально устарела, и потребовались новые решения для её поддержания и дальнейшего развития. В данной работе сообщается о создании рабочего прототипа, на основе которого планируется провести модернизацию системы медленного вывода ускоренных частиц с помощью кристаллических дефлекторов на синхротроне У-70. Созданный программно-аппаратный комплекс прошёл стендовые испытания и обеспечил успешное проведение экспериментов во втором сеансе 2016 года и первом сеансе 2017 года на синхротроне У-70.

Модернизированная станция кристаллических дефлекторов

В настоящее время на синхротроне У-70 установлено 11 станций кристаллических дефлекторов (СКД). Схема их расположения представлена на Рис. 1. Номер станции – место привязки дефлектора к азимуту синхротрона У-70.

Все станции условно можно разбить на 2 группы: станции, предназначенные для обеспечения пучками протонов и ионов различных физических установок (СКД19, СКД22, СКД24, СКД25, СКД27, СКД30, СКД106) и станции для проведения методических работ с кристаллическими дефлекторами (СКД32-1, СКД32-2, СКД84Э, СКД84А).

С учётом постоянного развития менялись подходы к конструкции станций. В настоящее время 7 используемых станций изготовлены в опытном производстве ИФВЭ по проекту Конструкторского отдела института (черт. № 7503-00-00-00 СБ). Эти станции имеют одну каретку с расположенным на ней кристаллическим дефлектором. Общим для всех станций этого типа является применение для горизонтального перемещения электрического двигателя типа ДПМ-30-Н1-05. Для углового перемещения дефлектора используются шаговые двигатели ШДР 711.

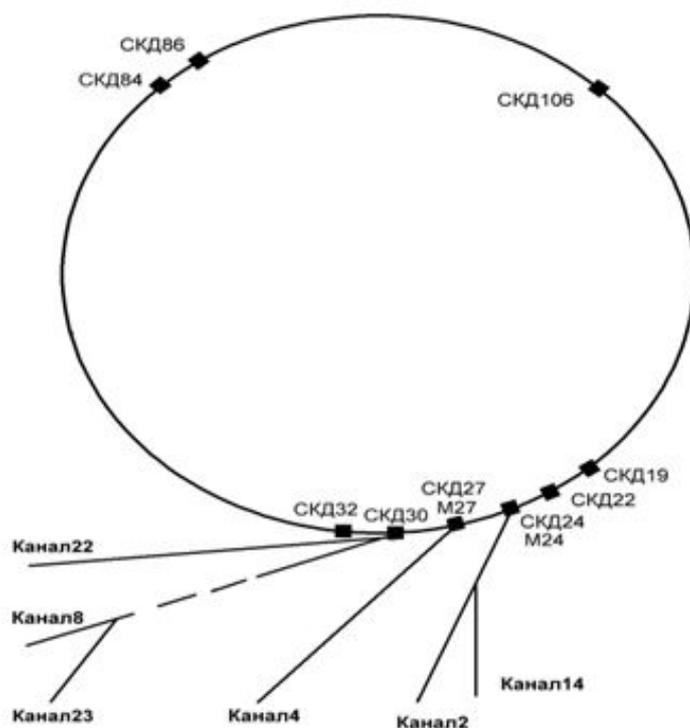


Рис. 1. Расположение станций кристаллических дефлекторов на синхротроне У-70.

Длительный опыт эксплуатации выявил ряд недостатков этих станций. Отметим ряд из них. «Выбег» каретки при установке станции на заданную координату, избыточные габариты и вес шагового двигателя углового перемещения, ограниченность диапазонов радиального и углового перемещений, необходимость различных схемных решений при создании аппаратуры управления горизонтальным и угловым перемещениями. Для устранения недостатков станции потребовалось провести ее модернизацию.

При модернизации станции было решено проектировать ее с двумя каретками. Это позволит размещать на станции резервный рабочий дефлектор или дефлектор с другими параметрами. В результате была разработана модернизированная СКД (Чертеж № СКД4-00-00-00 "Станция кристаллических дефлекторов с двумя каретками").

Для горизонтального и углового перемещения был выбран единый тип шагового двигателя, а именно FL39ST38, поставляемых фирмой «Электропривод» [2]. Проведенные нами стендовые испытания этого двигателя показали, что его силовые характеристики надежно обеспечивают работу механики модернизированной СКД. Мы также убедились в том, что перегрева двигателя при обеспечении рабочих режимов СКД не происходит.

Некоторые технические характеристики модернизированной станции:

1. Приводы радиального и горизонтального перемещения кареток – двигатель шаговый FL39ST38- 0504A. Ток фазы $I = 0.5$ А; крутящий момент = 0.29 Н·м.
2. Диапазон радиального перемещения каретки – 150 мм.
3. Диапазон перемещения кристалла по углу – 40 мрад.
4. Для измерения и индикации радиального перемещения каретки и перемещения кристалла по углу применены потенциометры ППМЛ-И с величиной сопротивления 10 кОм.
5. Крайние положения каретки и кристалла фиксируются микропереключателями МПЗ.
6. Станция устанавливается в стандартный вакуумный бокс ("Кожух" №7503-01-00-00), с внутренним диаметром 203 мм и присоединительной длиной 520 мм.
7. Электрические подключения станции к аппаратуре управления осуществляются двумя многожильными кабелями типа ТКПВ24 с разъемами типа 2РМ42КПН30Ш2В1 (кабельный) и разъемами типа 2РМГС42Б30Ш2Е2 (панельный).

На Рис. 2 представлен первый образец модернизированной станции с двумя каретками, изготовленный в цехе опытного производства ИФВЭ.

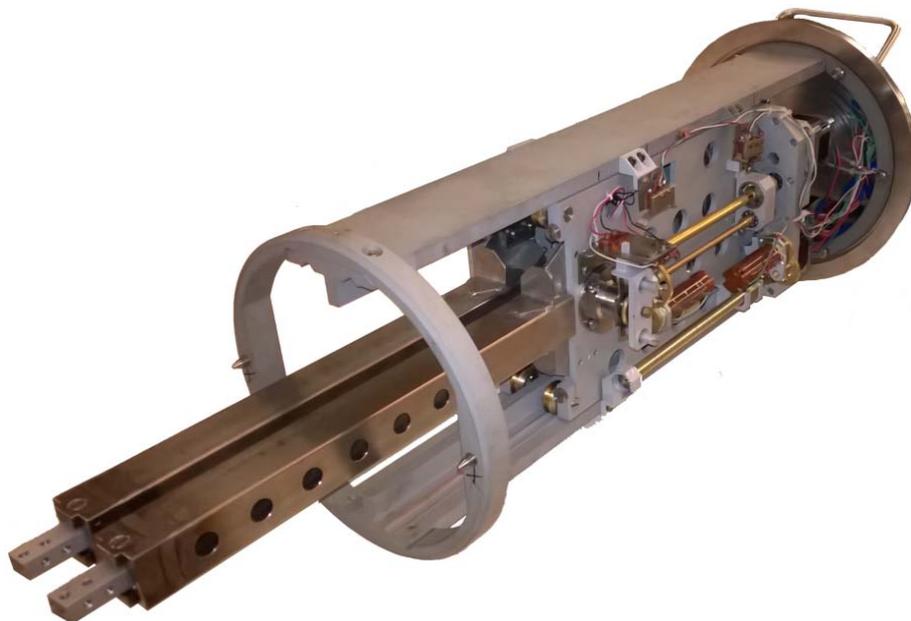


Рис. 2. Станция кристаллических дефлекторов с двумя каретками.

Система управления

Разработанная нами система управления СКД является автоматизированной и состоит из двух функциональных частей – управляющей, которая расположена на пульте систем вывода (включает в себя ПЭВМ), и периферийной – расположенной в подвале туннеля У-70 вблизи СКД, где радиационное поле существенно ниже, чем на орбите У-70.

Автоматизированная система управления (АСУ), обеспечивая управление СКД, решает следующие задачи:

1. Выбор одной из размещённых на синхротроне У-70 СКД.
2. Выбор одной из двух кареток станции.
3. Радиальное и угловое перемещение выбранной каретки.
4. Измерения радиальных и угловых координат кристаллов.
5. Обработка полученной информации, её архивирование.

Управление горизонтальным и угловым перемещением.

Каждая каретка с размещённым на ней кристаллом имеет ограниченный диапазон перемещений. Эти ограничения обеспечиваются концевыми выключателями. Перемещение кристалла непрерывно сопровождается информацией с потенциометра положения. Это даёт возможность вычислять текущее положение кристалла. После ввода оператором требуемого значения координаты система выставляет каретку в нужное положение по радиусу и по углу. Фиксация каретки на требуемой координате обеспечивается сравнением заданной координаты с показаниями потенциометра. В качестве дополнительной защиты предусмотрено программное ограничение диапазона перемещения.

Программа работы с угловым и радиальным механизмами перемещения обеспечивает следующие режимы работы:

1. «Прогон» – прохождение всего диапазона от одного концевого выключателя до другого. Скорость перемещения максимальная.
2. «Выход в стартовую точку» – оператор задаёт требуемый начальный угол, или координату по радиусу. Скорость перемещения максимальная.
3. «Шаг» – оператор имеет возможность перемещать механизм фиксированными шагами, как по углу, так и по радиусу.

Допуск к работе с системой управления персонифицирован (каждый оператор имеет свой пароль). Допуск к информации является открытым без возможности её изменения. Окончательная обработка информации проводится ответственным экспериментатором. Точность позиционирования кристалла определяется: параметрами механической конструкции, шагом двигателя, наводками на сигнальные шины кабеля, соединяющего блок управления с механической конструкцией, стабильностью блока питания ППМЛ. В текущей реализации достигнуты точности 0.1 мм по радиусу и 15 мкрад по углу.

В управляющей части АСУ СКД используется персональная ПЭВМ со специально разработанным программным обеспечением. Взаимодействие ПЭВМ, расположенной на пульте СВ, с периферийным блоком, находящимися в ускорительном зале в непосредственной близости от станции кристаллических дефлекторов, происходит по протоколу RS-485. Скорость обмена 19200 бод. Обмен информацией между ЭВМ

и периферийным блоком происходит по упрощённому варианту протокола в стандарте МЭК-1107.

В состав периферийного блока входят:

1. Микропроцессорный модуль «M128-DRV-4».
2. Модуль сигма-дельта АЦП «ADC8-24».
3. Модуль драйверов для управления 4-мя шаговыми двигателями «DRV-4М».
4. Модульный источник питания AC250/24-12-5.
5. Стабилизированный источник питания для ППМЛ.

Микропроцессорный модуль «M128-DRV-4» содержит группу на 24 дискретных входа «DI-24» с групповой гальванической изоляцией, группу на 12 дискретных выходов «DO-12» с групповой гальванической изоляцией, интерфейс RS-485 с гальванической изоляцией, разъем для подключения АЦП «ADC8-24».

Модуль сигма-дельта АЦП «ADC8-24» содержит восемь независимых каналов сигма-дельта АЦП с гальванической изоляцией каждого канала. Дискретность преобразования (16-23) разряда (в зависимости от времени преобразования и уровня помех);

Модуль драйверов «DRV-4М» предназначен для управления четырьмя шаговыми двигателями типа FL39ST38-0504A. Модуль имеет групповую гальваническую развязку и обеспечивает ступенчатое регулирование выходного тока.

Питание осуществляется трёхканальным модульным источником AC250/24-12-5, который состоит из трех независимых стабилизированных модулей: модуля стабилизированного питания ($V = 24 \text{ В}$; $I = 8 \text{ А}$) для четырех шаговых двигателей, модуля стабилизированного питания ($V = 12 \text{ В}$; $I = 4 \text{ А}$) для электроники аналоговых и логических цепей, модуля стабилизированного питания ($V = 5 \text{ В}$; $I = 2 \text{ А}$) для АЦП, ППМЛ и концевых выключателей.

Микроконтроллер, входящий в состав аппаратуры осуществляет управление СКД, выдавая сигналы драйверу шаговых двигателей, получает и обрабатывает информацию с концевых выключателей и измерительных потенциометров, установленных на СКД.

Периферийный блок находится вне вакуумной камеры и подключается к станции с помощью кабелей типа ТКПВ24. Длина кабелей ограничивается наводками на сигнальные проводники.

На Рис. 3 представлен внешний вид аппаратуры управления.



Рис. 3. Аппаратура управления: слева – периферийный блок, справа – ПЭВМ, СКД и периферийный блок на наладочном стенде.

На Рис. 4 представлена схема взаимосвязи элементов одного канала АСУ СКД.

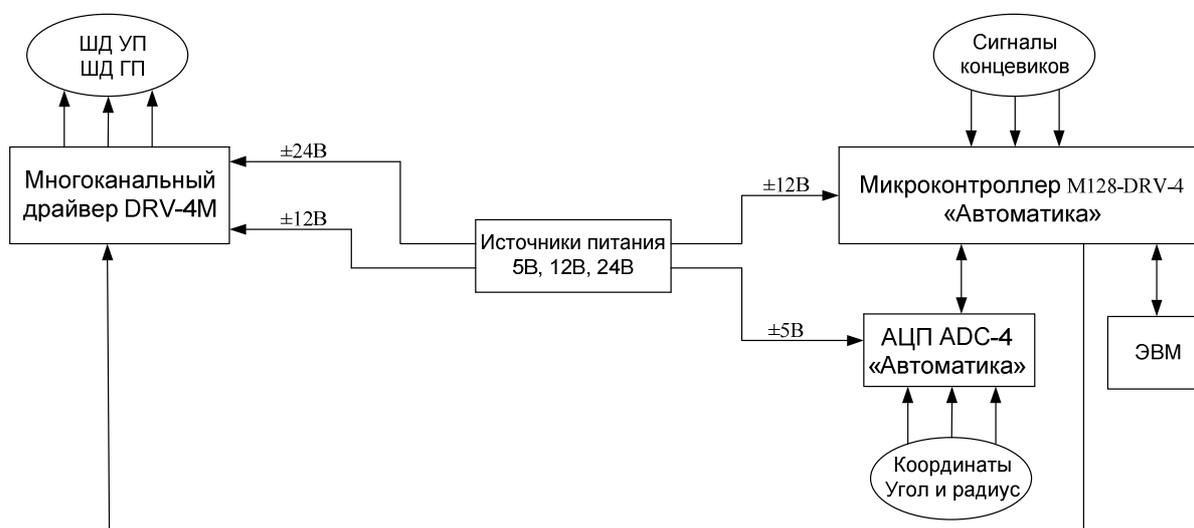


Рис. 4. Схема взаимосвязи элементов одного канала АСУ СКД.

В качестве поставщика оборудования нами была выбрана фирма ООО «Автоматика» (г. Протвино), которая изготовила аппаратуру по нашему техническому заданию.

Программное обеспечение

Программное обеспечение (ПО) АСУ СКД создавалось исходя из требований минимальной стоимости разработки и расходов на сопровождение в течение всего срока эксплуатации, период которого оценивается около десяти лет. Поэтому решения на основе коммерческих продуктов не рассматривались и весь комплекс основан на свободном ПО. ПО состоит из двух частей: программы управления СКД, выполняющейся на микроконтроллере в модуле M128-DRV-4, и программы рабочего места оператора, код которой исполняется на ПЭВМ, находящейся на пульте СВ. Упрощённая схема работы микроконтроллера представлена на Рис. 5.

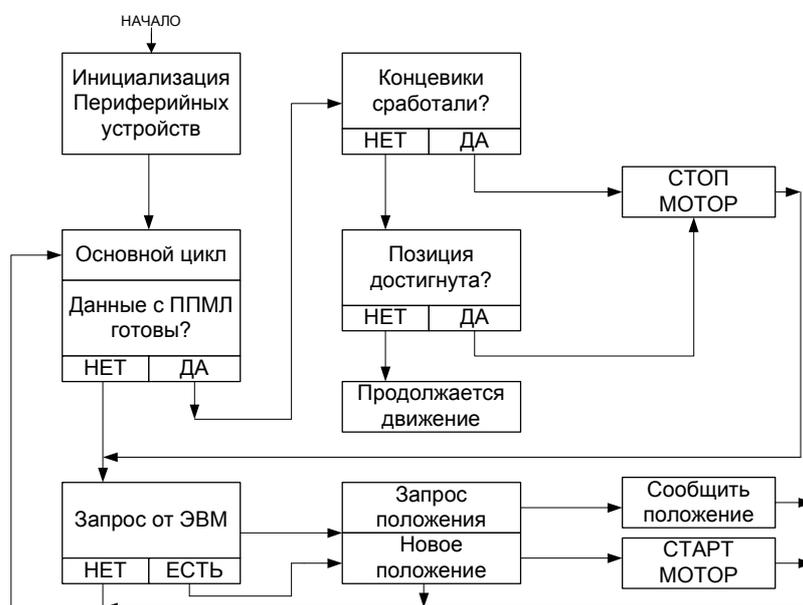


Рис. 5. Схема логики работы микроконтроллера M1128-DRV-4.

Данные с ППМЛ оцифровываются с помощью сигма–дельта АЦП с точностью 16 двоичных разрядов. АЦП опрашивается с частотой 78 Гц. После инициализации периферийных устройств запускается бесконечный цикл, в котором опрашивается АЦП и проверяется наличие запроса от управляющей ЭВМ. При наличии запроса выполняются соответствующие запросу действия: запускается или останавливается двигатель, сообщаются координаты СКД и состояние концевых выключателей.

В качестве операционной системы для управляющей ЭВМ выбран наиболее стабильный и широко распространённый вариант Linux/Debian [3]. Для реализации

рабочего места оператора использовался инструментарий разработки программного обеспечения на языке C++ на базе библиотеки Qt [4].

Интерфейс рабочей программы АСУ СКД представлен на следующем Рис. 6.

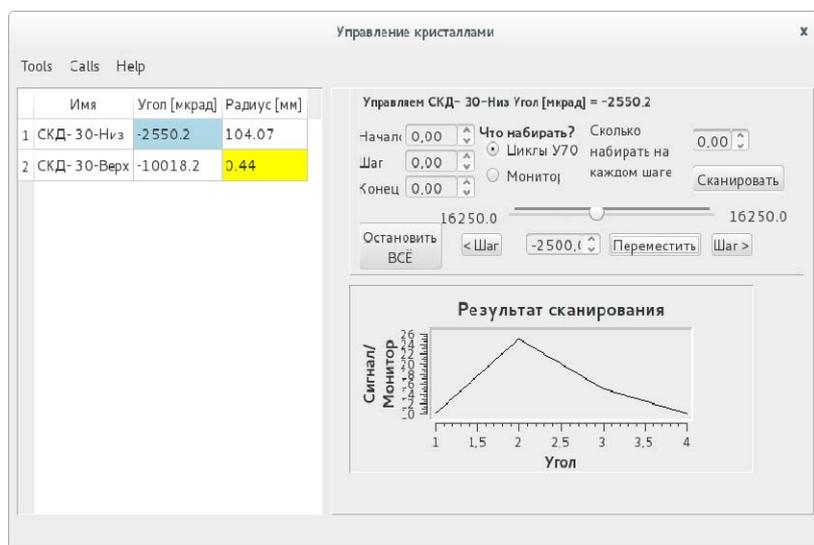


Рис. 6. Рабочий интерфейс программы АСУ СКД.

Заметим, что рабочая программа обеспечивает редактирование таблицы управления в соответствии с конкретной задачей, сформулированной оператором. Предусмотрено накопление текущей информации, её архивирование и восстановление данных из архива.

Развитие АСУ СКД

Программу работы с угловыми механизмами планируется дополнить режимом «Сканирование». В этом режиме оператор задаёт начальный и конечный углы положения кристалла, дискретность перемещения (число шагов для перехода от одной точки к другой), а также число циклов ускорителя, при котором система сохраняет фиксированный угол. Для каждого положения кристалла по углу будет происходить сбор и анализ информации с приборов диагностики пучка (ускоренной интенсивности, выведенной интенсивности в канал кристаллом). В процессе сканирования строится и выводится на экран зависимость эффективности вывода от угла ориентации кристалла. В режиме «Сканирование» АСУ в каждом цикле работы ускорителя будет получать

и анализировать информацию о магнитном цикле У-70, а также об ускоренном пучке. При отсутствии сигналов цикла или интенсивности «Сканирование» останавливается.

На Рис. 7 представлена структурная схема дальнейшего развития АСУ СКД для управления всеми имеющимися в наличии станциями кристаллических дефлекторов на У-70.

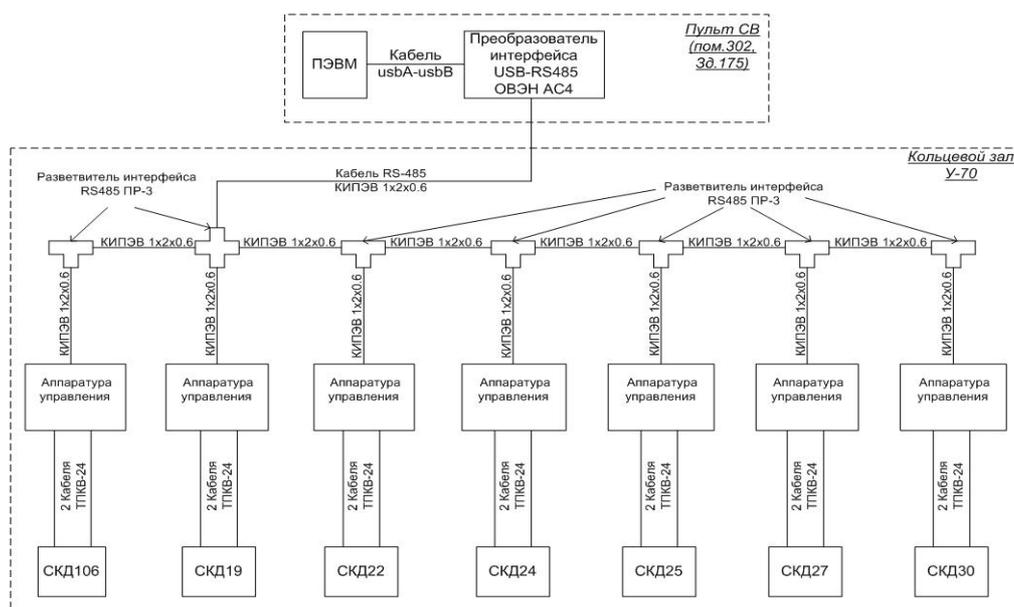


Рис. 7. Планируемая структурная схема АСУ СКД.

Заключение

В ходе испытаний созданного программно-аппаратного комплекса в составе модернизированной СКД и АСУ СКД, проводившихся на ускорителе У-70 во втором сеансе 2016 года и первом сеансе 2017, года было показано, что аппаратура надежно работает. Подтвердилось, что данный комплекс обладает рядом преимуществ относительно старой системы управления, а именно: улучшилась точность позиционирования кристалла, существенно повысилась оперативность управления, значительно упростился ремонт системы в случае выхода ее из строя, появилась возможность развивать систему на базе уже созданной (старая система управления такой возможности не предоставляла). Последовательное тиражирование нашего комплекса позволит провести модернизацию системы медленного вывода с использованием кристаллических дефлекторов на синхротроне У-70.

Авторы благодарят Дирекцию НИЦ “Курчатовский институт” – ИФВЭ за поддержку нашего предложения и за выделение ресурсов, необходимых для создания техники. Большую помощь при выполнении работы оказал начальник Отдела систем вывода ОУК Ю.С. Федотов, за что авторы ему признательны.

Список литературы

- [1] А.Г. Афонин, В.Т. Баранов, В.М. Бирюков и др. ЭЧАЯ, 2005. Т. 36. Вып. 1, с. 43-99.
- [2] www.electroprivod.com.
- [3] <https://www.debian.org/>
- [4] <https://www.qt.io/>

Рукопись поступила 3 августа 2017 г.

А. Г. Афонин и др.

Развитие аппаратно-программных средств системы медленного вывода с использованием кристаллических дефлекторов на синхротроне У-70.

Препринт отпечатан с оригинала-макета, подготовленного авторами.

Подписано к печати 09.08.2017. Формат 60 × 84/16. Цифровая печать.

Печ.л. 1. Уч.-изд.л. 1,25. Тираж 80. Заказ 5. Индекс 3649.

НИЦ «Курчатовский институт» – ИФВЭ

142281, Московская область, г. Протвино, пл. Науки, 1

www.ihep.ru; библиотека <http://web.ihep.su/library/pubs/all-w.htm>

ПРЕПРИНТ 2017-3,
НИЦ «Курчатовский институт» – ИФВЭ, 2017
