

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ДИФРАКТОМЕТРАМИ СЕРИИ ДРОН

Матвеев Д. А., Кяшкин В. М.

ГОУВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева», г. Саранск

E-mail: dimitry88@mail.ru

Аннотация. Описана модернизированная система управления (СУ) рентгеновским дифрактометром ДРОН-УМ1, приводятся особенности соответствующих технических и программных решений, а также взаимодействия СУ с кинематикой и детекторами аппаратов данной серии.

Ключевые понятия: рентгеновский дифрактометр, микроконтроллер, фотоэлектронный умножитель, биполярный двигатель, гониометр, интерфейс RS-232C

Введение

Рентгеноструктурный анализ (РСА) является важным неразрушающим методом исследования атомной структуры веществ в кристаллическом, аморфном или жидком состоянии. Изучение свойств материалов в науке и контроль качества при производстве многих материалов и изделий из них невозможны без использования РСА. Метод основан на регистрации рентгеновских лучей дифрагирующих на атомной решетке вещества, с помощью соответствующих счётчиков квантов. Основным типом соответствующих приборов, используемых в настоящее время, являются рентгеновские дифрактометры.

Наиболее удобным способом съёмки рентгенограммы, является съёмка по точкам, так как это позволяет наиболее эффективно производить достаточно сложную математическую обработку результатов. Для достаточно детальной съёмки исследуемого образца количество точек может достигать 1500 и более, что, очевидно, предполагает достаточную степень автоматизации процесса измерения.

С 1984 года на кафедре физики твёрдого тела МГУ имени Н.П. Огарева работает автоматический дифрактометр ДРОН-УМ1. В заводском варианте в состав резидентного комплекса управления (КУ) входила ПЭВМ «Искра-1256», связанная через контроллеры с набором периферийных модулей. В связи с развитием вычислительной техники, а также физическим и моральным старением ПЭВМ, в 2005 году комплекс управления дифрактометром подвергся модернизации [1]. В результате было разработано устройство сопряжения, позволившее в качестве управляющей ЭВМ использовать IBM PC совместимый компьютер при сохранении периферийных модулей. К концу последующих 5 лет эксплуатации участились сбои системы управления из-за физического старения электронных компонентов стандартных модулей управления (рисунок 1)



Рисунок 1 – Блоки стандартной системы управления дифрактометра ДРОН-УМ1.

В связи с этим в начале 2010 года началось проектирование абсолютно новой, независимой системы управления на современной элементной базе, а также программного обеспечения для управляющей IBM PC.

Постановка задачи

Данный программно-аппаратный комплекс должен был осуществлять сопряжение существующих исполнительных механизмов и детекторов дифрактометрической установки ДРОН УМ-1, и персонального компьютера с управляющим программным обеспечением (рисунок 2).

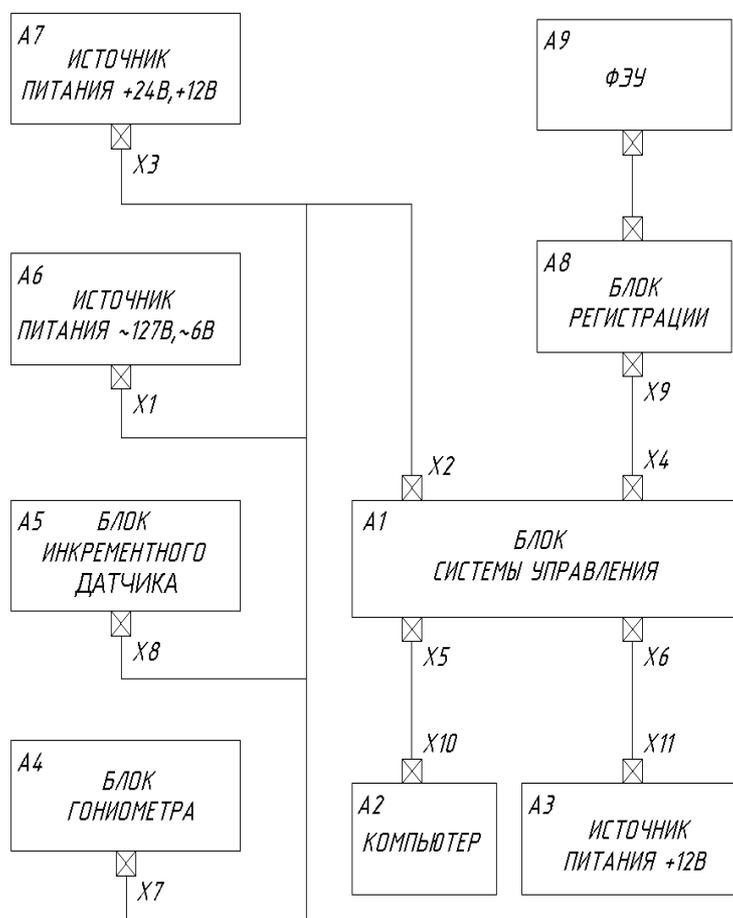


Рисунок 2 – Блок-схема системы управления дифрактометром

Метод решения

Система управления дифрактометром состоит из двух частей (рисунок 3): программной оболочки, выполняемой на стороне ПК и аппаратной части. Программная оболочка обеспечивает основную логику управления работой дифрактометра, координирующую обмен информацией с аппаратной частью посредством разработанного протокола команд, реализует последовательности управляющих команд для выбранного режима измерения, вызывает процедуры преобразования принятых данных, передает подготовленную информацию или принимает ее из модуля интерфейса пользователя.

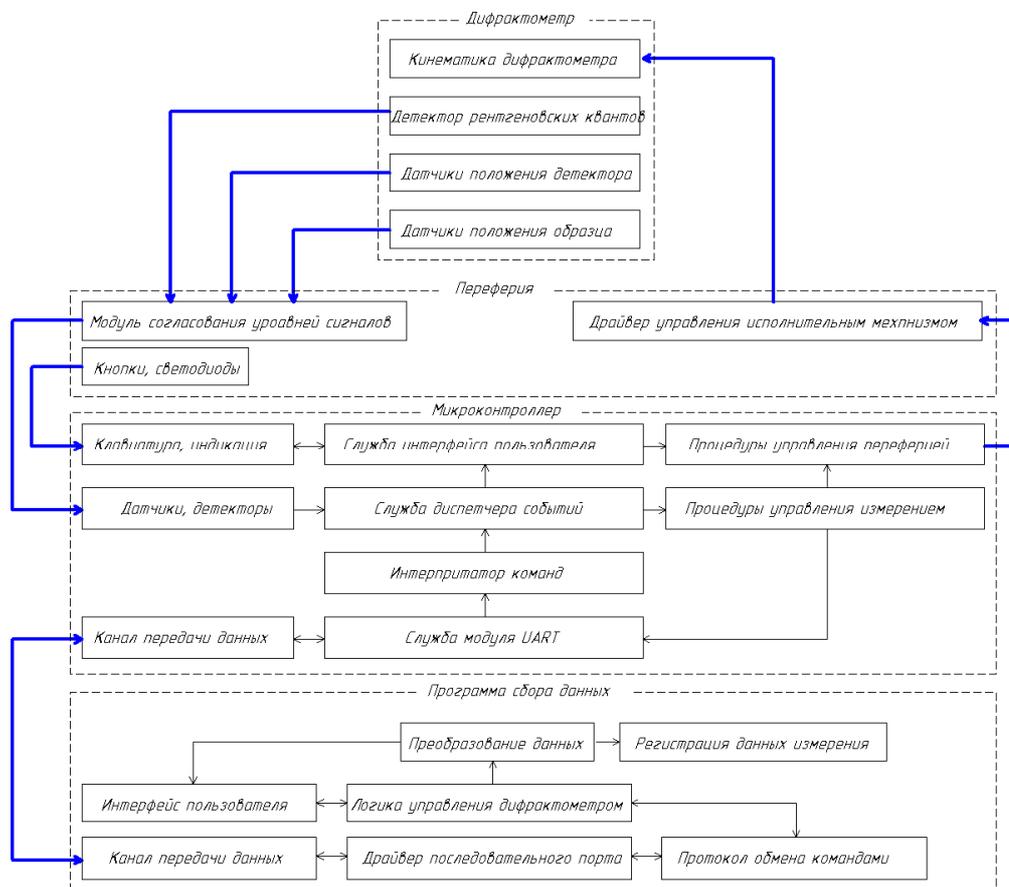


Рисунок 3 - Общая модель взаимодействия элементов системы управления

Аппаратная часть системы управления выполняет промежуточную функцию связи исполнительных механизмов и датчиков дифрактометра с программной оболочкой сбора данных. Дополнительно реализуется набор макрофункций, реализующих типовые методы управления исполнительными механизмами, описанными далее. Предусмотрены также функции реакции на аварийные ситуации, обслуживания элементов индикации. Такой подход позволяет освободить ПК от выполнения неэффективных битовых операций и временных задержек, а канал обмена данными разгрузить от потока избыточной информации.

Аппаратная часть системы управления дифрактометром включает следующие функции:

1. Прием, дешифрацию и выполнение команд, принятых через последовательный порт RS-232 от управляющего ПК
2. Согласование уровней электрических сигналов
3. Обеспечение индикации текущего режима работы дифрактометра при помощи светодиодных индикаторов.
4. Управление биполярным двигателем гониометра
5. Управление заслонкой рентгеновского пучка
6. Управление вращением образца или его сканированием с помощью двигателей соответствующих приставок
7. Счет импульсов датчика углового положения
8. Счет импульсов детектора рентгеновских квантов

В программном обеспечении должны быть реализованы следующие режимы:

1. Интенсиметр – режим индикации, предназначенный для облегчения юстировки исследуемого образца. Может работать в режиме непрерывного отображения текущей интен-

сивности излучения, проходящего через приемную щель счетчика квантов. Автоматический расчёт заданного значения интенсивности упрощает процесс юстировки.

2. Автоматическая съёмка рентгенограмм – режим автоматизированного измерения интенсивности в заданном интервале брегговских углов с шагом по углу и временем счёта в точке, заданными оператором.

3. Автоматическое измерение аппаратного фона – измерение аппаратных шумов, вычисление их среднего и среднеквадратичного значений.

4. Инженерный режим – Предоставляет возможность пользователю или обслуживающему персоналу управлять, как состоянием внутренних ресурсов аппаратной части системы управления дифрактометром, так и отдельными исполнительными устройствами. Таким образом, можно полностью проверить работоспособность всей установки в целом, а также оперативно выявить неисправность.

5. Сохранение результатов измерений в файл с расширением txt или prn

6. Передача параметров в программу “Excel”

7. Отображение на мониторе рентгенограммы в режиме реального времени.

Принципиальная схема системы управления дифрактометром (рисунок 3) соответствует структурной, и приведена в приложении. Её ядром является восьми- разрядный микроконтроллер (DD4) AT89C52-24PI. Данный микроконтроллер (МК) зарекомендовал себя, как промышленный стандарт во встраиваемых приложениях, и именно поэтому, его выбирают большинство разработчиков управляющих систем.

В качестве преобразователя уровней RS-232/ТТЛ применена микросхема (DD2) MAX 232CPE, содержащая 4 буферных каскада, а также 2 источника вторичного электропитания с напряжением +12 и -12 вольт. Данные источники построены по принципу зарядового насоса, и требуют 4 внешних конденсатора C5,C6,C10,C13. Применение данной микросхемы является вполне обоснованным, так как позволяет обойтись лишь одним системным напряжением питания +5В. Соединение выводов микросхемы DD2 с шиной RS-232 осуществляется через стандартный разъем DB-9M, при этом для соединения с ведущим устройством требуется использование нуль-модемного кабеля. Передача сигналов последовательного интерфейса МК осуществляется через вывод порта P3.1(TXD), а прием P3.0(RXD).

Выводы порта P3.5-P3.7 используются для опроса клавиатуры состоящей из кнопок SB2-SB4, и подтягивающих резисторов R11-R13, подавление дребезга контактов кнопок осуществляется программным путем.

Вывод порта P3.2 настроен как логический вход и предназначен для опроса текущего состояния заслонки детектора. С целью согласования уровней, а также повышения помехозащищенности, контакты герконового датчика положения заслонки рентгеновского пучка не имеют непосредственной гальванической связи с выводом P3.2, и разделены оптронной связкой на элементах R28, U3. В качестве U3 применяется транзисторная оптопара PC817 производства Philips, имеющая напряжение изоляции 2кВ и нагрузочную способность выходного транзистора 100мА, а также низкий прямой ток светодиода 10мА. Оптопара имеет малые габариты (DIP4), и низкую стоимость при весьма неплохих параметрах.

Разряд 4 порта P3 сконфигурирован как внешний счетный вход таймера-счетчика T0, и соединен с выходом Z программируемого делителя DD3. В качестве

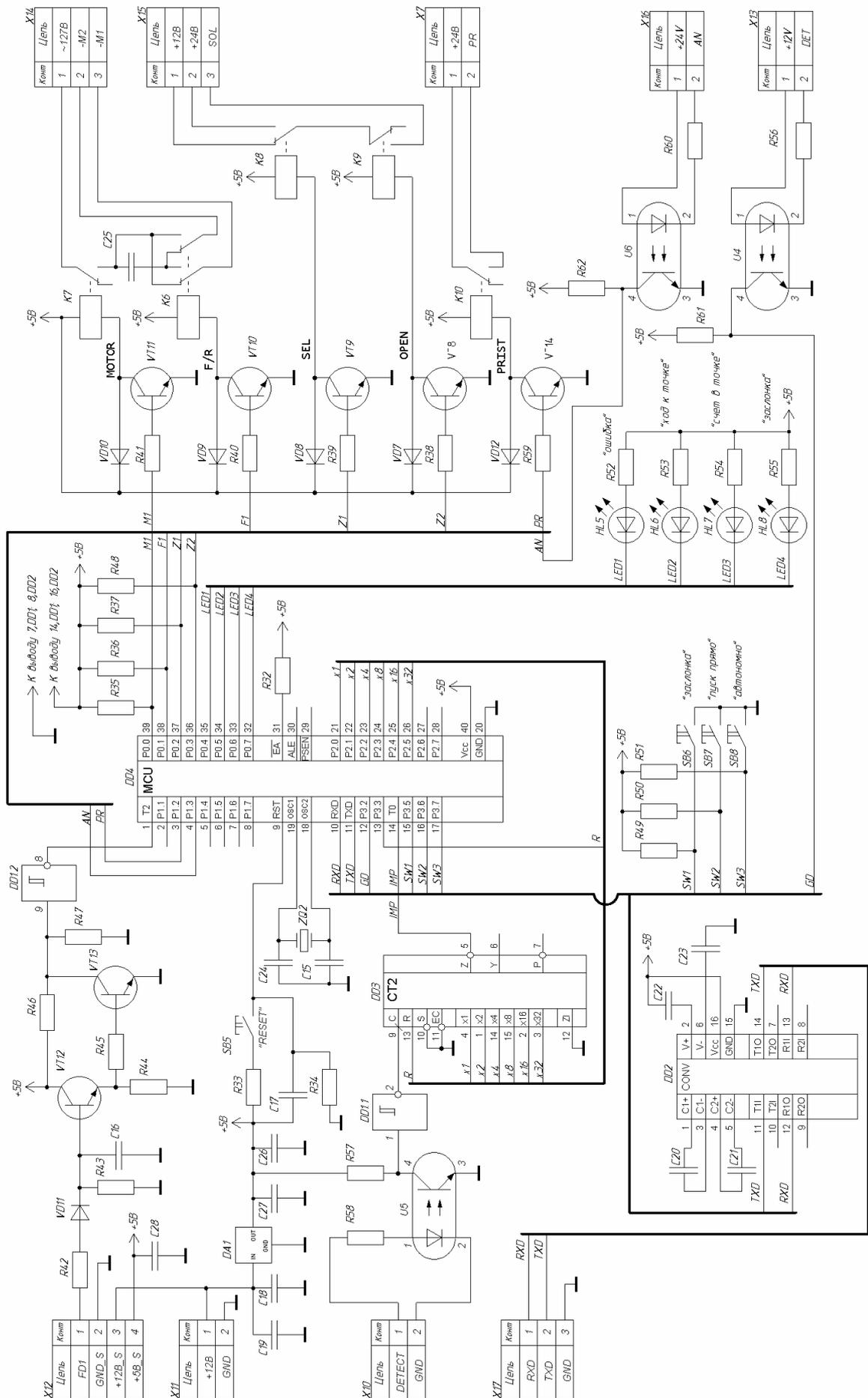


Рисунок 3 – схема принципиальная

программируемого делителя была выбрана микросхема K155ИЕ8, имеющая максимальный коэффициент деления 1/64. Управление коэффициентом деления, значение которого защелкивается в регистрах порта P2 микроконтроллера DD4, осуществляется при помощи 6 линий X1-X32. С началом каждого измерения в точке осуществляется сброс в начальное состояние внутреннего пересчетного устройства DD3, что предотвращает накопление ошибки счета импульсов. Установка всех триггеров микросхемы DD3 в начальное состояние производится по нарастающему фронту импульса на входе R, который в свою очередь соединен с портом P3.3 микросхемы DD4.

Импульсы блока детектора интенсивности имеют уровни ТТЛ и поступают на разъем X3, и далее на оптрон U1, необходимый для развязки общих точек земли блока фотоэлектронного умножителя (ФЭУ) и системы управления. Такое решение объясняется высоким (до 800 В) анодным напряжением питания ФЭУ, а следовательно возможным накоплением статического потенциала в цепи земли, который может привести к повреждению элементов системы управления. Сигнал снимаемый с коллектора транзисторной оптопары U1 поступает на вход элемента (DD1.1) триггера Шмидта, выполненного на микросхеме K1533ТЛ2 и необходимого для подавления возможного “дребезга”, а также получения импульсов с минимальной длительностью фронтов. С выхода элемента DD1.1 импульсы детектора поступают на вход С предделителя DD3, где осуществляется их подсчет по нарастающему фронту.

Схема связи с инкрементным датчиком угла поворота детектора выполнена на элементах VD1, VT1, VT2, DD1.2. Сигнал от датчика гониометра поступает на разъем X1 в цепь FD1, данный сигнал является биполярным с уровнями $\pm 12\text{В}$. Для подавления отрицательной составляющей сигнала применена цепочка R1, VD1. На элементах R3, C7 построен фильтр низкой частоты (ФНЧ), необходимый для исключения высокочастотных помех в цепи датчика. Транзисторный каскад VT1, VT2 является звеном согласования уровней. VT1 включен по схеме эмиттерного повторителя, при его открытии ток протекает через транзистор VT1 и создает на резисторе R5 падение напряжения, которое прикладывается к базе транзистора VT2 и открывает его. При этом потенциал коллектора транзистора VT2 становится близким к уровню логического “0”, а на выходе инвертирующего буферного элемента DD1.2 устанавливается логическая “1”.

Импульсы с элемента DD1.2 поступают на вывод порта P1.0, микросхемы DD4, который сконфигурирован как счетный вход таймера-счетчика T2. Каждый подсчитанный импульс свидетельствует о повороте вала гониометра на 0,01 градуса, таким образом, содержащее счетчика T2 постоянно отображает суммарный угол поворота. Для предотвращения аварийной ситуации, выхода детектора дифрактометра за пределы углов рабочего диапазона предусмотрены концевые выключатели установленные на оси гониометра. Выключатели соединены с разъемом X8 и при срабатывании соединяют цепь AN с цепью земли, при этом через светодиод оптопары U2 начинает протекать ток, ограниченный резистором R30. Сигнал, снимаемый с коллектора транзисторной оптопары U2, контролируется программным опросом вывода P1.3 микроконтроллера.

Порт P0 микроконтроллера DD4 имеет двойное назначение, его младшая тетрада используется для управления исполнительными механизмами, а старшая для отображения текущего состояния системы управления при помощи четырех светодиодов HL1-HL4. Данный порт имеет выходы с открытым стоком и повышенной нагрузочной способностью 20мА, что позволяет подключать светодиоды непосредственно к выводам микроконтроллера.

Питание биполярного двигателя гониометра осуществляется от внешнего источника переменного тока с напряжением 127В. В связи с этим, наиболее удобным для управления двигателем является применение твердотельных реле (K1, K2 на схеме), так как в них отсутствуют ненадежные механические контакты и осуществляется гальваническая развязка. Они имеют достаточное быстродействие, а также простую схему включения.

Управление направлением вращения двигателя производится, перекоммутацией его обмоток и фазосдвигающего конденсатора C14, при помощи реле K2 имеющего 2 группы контактов.

В качестве драйверов обмоток реле выступают транзисторные ключи VT3-VT7 и защитные диоды VD2-VD6. Ток потребления цепей управления реле не превышает 100мА, поэтому в качестве VT3-VT7 используются транзисторы KT3102AM в корпусе ТО-93. Диоды VD2-VD6 включены в обратном направлении, и защищают переход коллектор-эмиттер транзистора от пробоя.

С целью сокращения тепловых потерь в обмотке соленоида заслонки рентгеновского пучка, ее питание осуществляется двумя напряжениями: 24В – в момент открытия и 12В – в течение времени удержания в открытом состоянии. Коммутация напряжений питания производится реле К4, соответственно состоянию датчика положения заслонки.

Питание системы управления осуществляется через разъем X3 напряжением 12В, которое поступает через фильтр на конденсаторах С1, С2 к интегральному LDO-стабилизатору DA1, реализованному на микросхеме 78L05, и имеющему напряжение стабилизации 5В. Напряжение, снимаемое с вывода OUT DA1 дополнительно фильтруется конденсаторами С4, С8 и непосредственно используется для энергоснабжения всех внутренних узлов системы управления.

Конденсатор С9, резисторы R7, R6, а также кнопка SB1 образуют цепь сброса состояния микроконтроллера. RC цепочка С9, R7 имеет постоянную времени 1мс, и в момент первоначального включения системы управления, в течение времени установления питающего напряжения, осуществляет удержание МК в состоянии сброса. Такое решение позволяет задержать начало выполнения программного кода, которое в этих условиях, может привести к нестабильной работе или заикливанию управляющего контроллера. Кнопка SB1 совместно с токоограничительным резистором R6 шунтирует конденсатор С9, при замыкании ее контактов происходит разряд конденсатора С9 через резистор R6, в результате чего на выводе RST МК DD4 появляется логическая «1», вызывая переход в состояние начальной установки.

Заключение

Разработанная система управления была реализована в качестве опытного образца (см. рисунок 4) и опробована в тестовом режиме совместно с макетами исполнительных механизмов дифрактометра ДРОН-УМ1. Габаритные размеры блока управления составили 200x80x60 мм. Следующим этапом является создание программного обеспечения сбора данных для персонального компьютера, что позволит провести первые испытания всей системы управления в целом. Предполагается что в результате разделения задач управления между аппаратной и программной частями, удастся существенно повысить надежность работы дифрактометра, сократить вычислительную нагрузку на управляющую IBM PC и уменьшить время съемки рентгенограммы. Для сравнения приводится фотография модулей старой системы управления (рисунок 1)



Рисунок 4 – Аппаратная часть системы управления в сборе

Сведения об авторах

Матвеев Дмитрий Алексеевич – студент факультета электронной техники Мордовского государственного университета им. Н. П. Огарёва, e-mail: dimitry88@mail.ru

Кяшкин Владимир Михайлович – доцент кафедры физики твёрдого тела Института физики и химии Мордовского государственного университета им. Н. П. Огарёва, e-mail: kyashkin@mail.ru