

## СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ МОБИЛЬНОЙ ФИЛЬТРОВЕНТИЛЯЦИОННОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА БАЗЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА ATMEGA8

Б.Р. Гафаров

gafarovbr@student.bmstu.ru

И.А. Зайцев

zaytsevia4@student.bmstu.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

---

### Аннотация

На производственном рынке большая часть технологического оборудования содержит системы управления. На данный момент существует проблема дороговизны и недоступности таких систем. Однако области науки, которые являются основополагающими в разработке данных систем, такие как электроника, микроэлектроника и программирование, стремительно развиваются. Это позволяет компаниям существенно модернизировать выпускаемую продукцию за счет использования микропроцессорной техники. Данная статья освещает применение относительно новых технологий в разработке систем управления промышленными объектами. На примере вытяжной установки в работе представлены пути усовершенствования управляющих систем. Разработаны электрические схемы, описаны способы сохранения данных в энергонезависимую память микроконтроллера, написан алгоритм управления для микроконтроллера, собран стенд, демонстрирующий работу системы, и приведены результаты первичных испытаний. Полученные результаты позволили кратно сократить расходы на систему и сделать ее более доступной благодаря применению стандартных электронных компонентов. Материалы исследования можно использовать при реализации плавного пуска коллекторных двигателей и управления ими, а также при усовершенствовании систем, где применяются микроконтроллеры.

### Ключевые слова

Печатная плата, микроконтроллер, микросхема, вытяжная установка, электроника, Atmega8, коллекторный двигатель, плавный пуск

Поступила в редакцию 24.03.2023

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2023

**Введение.** Обеспечение безопасных условий труда является одним из основных приоритетов для современной промышленности. Вытяжная установка позволяет минимизировать воздействие на человека вредных веществ, которые выделяются при работе на сварочном оборудовании [1], за лазерными станками [2] и при использовании другого оборудования, выделяющего вредные вещества.

На данный момент объект управления (рис. 1) имеет спрос в различных сферах экономики, начиная от металлообрабатывающей промышленности и заканчивая сферой образования. Например, за последнее время участились продажи вытяжных систем в мастерские образовательных учреждений, где проводятся уроки технологии.

Основной частью установки является коллекторный двигатель мощностью 1000 Вт. Для управления им используется печатная плата (рис. 2), которая производилась за границей, и состоящая из иностранных компонентов. В связи с этим часто случались проблемы с поставками оборудования, а с недавнего времени данную плату перестали поставлять в Россию.



Рис. 1. Внешний вид установки      Рис. 2. Внешний вид ранее использованной платы

Создание своего собственного решения по управлению вытяжкой позволит решить появившуюся проблему благодаря использованию стандартных отечественных и китайских электронных компонентов, доступных на рынке. Также в ходе разработки собственного решения предполагается значительное увеличение функционала системы управления вытяжки, что позволит оказывать более качественные услуги и получать большую прибыль.

Данная работа связана непосредственно с электроникой, микроэлектроникой, программированием микроконтроллеров. Схожие решения используются при проектировании умных домов, поскольку в их основе также используются данные с датчиков, которые обрабатываются с помощью микроконтроллеров.

**Требования к системе.** Перечень требований включает:

- 1) возможность с помощью кнопки на блоке управления выполнять плавный пуск двигателя вытяжки;
- 2) использование потенциометра для регулировки оборотов двигателя;

- 3) сохранение мощности двигателя при появлении нагрузки;
- 4) включение зеленой индикаторной лампы при подаче питания;
- 5) вывод надписи на жидкокристаллическом экране при засорении фильтра;
- 6) введение на экране общего времени работы вытяжки и счетчика времени работы вытяжки после замены фильтра;
- 7) возможность переключения счетчиков работы фильтра и установки, а также сброс времени работы фильтра с помощью кнопок на блоке управления;
- 8) запоминание значений времени работы фильтра и установки при отключении питания;
- 9) при критической температуре двигателя автоматическое отключение вытяжки и вывод соответствующей надписи на экране, включение зуммера и индикаторной лампы красного цвета.

**Архитектура решения.** Было принято решение разработать две платы. Силовая плата будет отвечать за плавный пуск и регулировку оборотов двигателя, индикаторная — за обработку показаний датчиков и управление в соответствии с разработанным алгоритмом. При проектировании системы разработана структурная схема [3,4]. На ней изображены основные составляющие системы и показано, как они связаны (рис. 3).

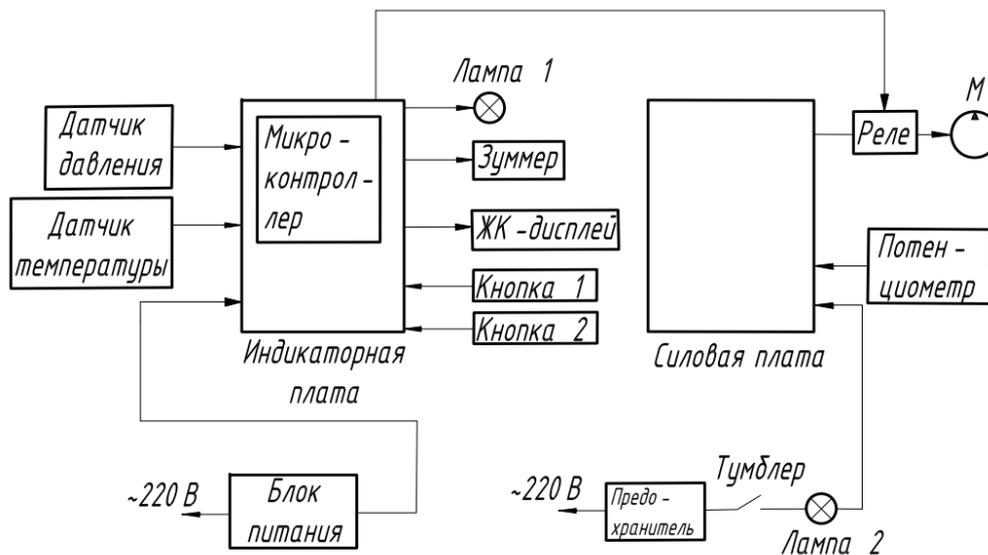


Рис. 3. Структурная схема

**Подбор компонентов.** Согласно требованиям к системе необходимо осуществлять регулировку оборотов и плавный пуск двигателя. Для управления коллекторными двигателями переменного тока чаще всего используются микросхемы U2008B и U2010B.

Микросхема U2008B является ШИМ-регулятором оборотов коллекторных электродвигателей переменного напряжения. Встроенный контур плавного старта существенно продлевает срок эксплуатации двигателей. Схемы регулировки на базе этого чипа можно также применять для регулировки мощности. Но U2008B не может одновременно работать в режиме плавного пуска и обратной связи.

U2010b — микросхема фазового управления с обратной связью по току и защитой от перегрузки. Она позволяет отслеживать нагрузку по току и имеет функцию плавного пуска, а также выход опорного напряжения. Предпочтительными применениями являются управление двигателем с обратной связью по току и защитой от перегрузки [5]. Данная микросхема наиболее полно соответствует предъявляемым техническим заданием требованиям.

Для управления индикацией и мониторинга состояния датчиков применен микроконтроллер. В таблице представлены рассматриваемые микроконтроллеры и их параметры, учитываемые при выборе [6].

**Таблица сравнения микроконтроллеров**

Название	Flash память программ	АЦП	Компаратор	EEPROM, Б	Внешние прерывания	Асинхронный таймер
ATMEGA8-16PU	8 кБ	Да	Да	512	2	Да
ATMEGA328P	32 кБ	Да	Да	1024	2	Да
PIC16F870	2К×14 слов	Да	Нет	64	1	Нет
STM32F103C8T6	64 кБ	Да	Да	Flash	8	RTC

Предъявляемым требованиям по аппаратному обеспечению удовлетворяют микроконтроллеры ATMEGA8-16PU, ATMEGA328P и STM32F103C8T6, поскольку содержат периферийные модули, необходимые для реализации заложенных функций. Микроконтроллер STM32F103C8T6 располагает избыточно большими вычислительными мощностями и объемом flash-памяти, в которых в данной задаче нет необходимости. Из микроконтроллеров ATMEGA8-16PU и ATMEGA328P первый был выбран из экономических соображений: он располагает достаточным объемом памяти и при этом стоит в несколько раз дешевле, чем ATMEGA328P.

Для мониторинга засора фильтра используется датчик абсолютного атмосферного давления BMP280. Данный датчик поддерживает корректировку результатов по температуре и обеспечивает точность выходного результата до 1 Па. Датчик подключается по интерфейсу I2C.

Контроль температуры двигателя осуществляется с помощью термистора номиналом 10 кОм при температуре 25 °С. Термистор подключен к входу АЦП микроконтроллера через делитель напряжения, обеспечивающий напряжение на входе микроконтроллера в диапазоне 1,27...4,45 В при температуре 15..110 °С.

Для индикации работы установки был выбран символьный дисплей LCD1602 с голубой подсветкой — жидкокристаллический дисплей, экран которого способен отображать одновременно до 32 символов (2 строки по 16 символов). Дисплей имеет параллельный 8-битный интерфейс, поэтому для экономии используемых выводов он подключен к микроконтроллеру через расширитель портов на микросхеме PCF8574, управляемой по интерфейсу I2C.

Подсчет времени работы установки реализован на асинхронном таймере, который тактируется от внешнего часового кварцевого резонатора с частотой 32768 Гц. Данный кварцевый резонатор позволяет точно генерировать прерывания таймера с частотой в 1 с.

Управление силовой платой осуществляется через твердотельное реле, поскольку оно не имеет ограничений на количество срабатываний, в отличие от электромеханического.

**Алгоритм управления.** Управление программой осуществляется с помощью восьмибитной переменной flag, содержащей битовые поля различных флагов.

При включении установки происходит чтение исходных значений времени работы установки и фильтра из энергонезависимой EEPROM-памяти, инициализация всех внешних и периферийных устройств, считывается начальное значение давления и запускается двигатель.

Устройство может находиться в трех режимах работы:

1) штатный — осуществляется контроль температуры двигателя и давления в вытяжной системе для обнаружения засора фильтра. Выводится время работы установки либо время работы фильтра, переключение между выводимыми временами осуществляется с помощью кнопки. Двигатель включен;

2) перегрев двигателя — двигатель выключен, ожидание понижения температуры двигателя. Время работы установки и фильтра не увеличивается. Включены индикаторная лампа и звуковой сигнал, на дисплей выводится соответствующее сообщение;

3) засор фильтра — на дисплее выводится информация о необходимости замены фильтра и о времени его работы. Двигатель включен, осуществляется температурный контроль.

При включении устройство работает в штатном режиме.

Переключение между режимами происходит в основном цикле на основании информации, получаемой с датчиков и управляющих кнопок. Детектирование засора фильтра происходит, когда разница начального и текущего давлений превышает пороговое значение (3 кПа), после чего установка переходит в соот-

ветствующий режим. Для вывода установки из режима засора необходимо нажать кнопку SB2. После нажатия этой кнопки время работы фильтра сбрасывается и установка переходит в штатный режим.

При повышении температуры двигателя выше критического значения (90 °С) установка переходит в режим перегрева, двигатель выключается. Возвращение в штатный режим и включение двигателя происходит автоматически при понижении температуры двигателя ниже нижнего порога (80 °С). Ниже представлен алгоритм работы в виде блок-схем (рис. 4, 5).

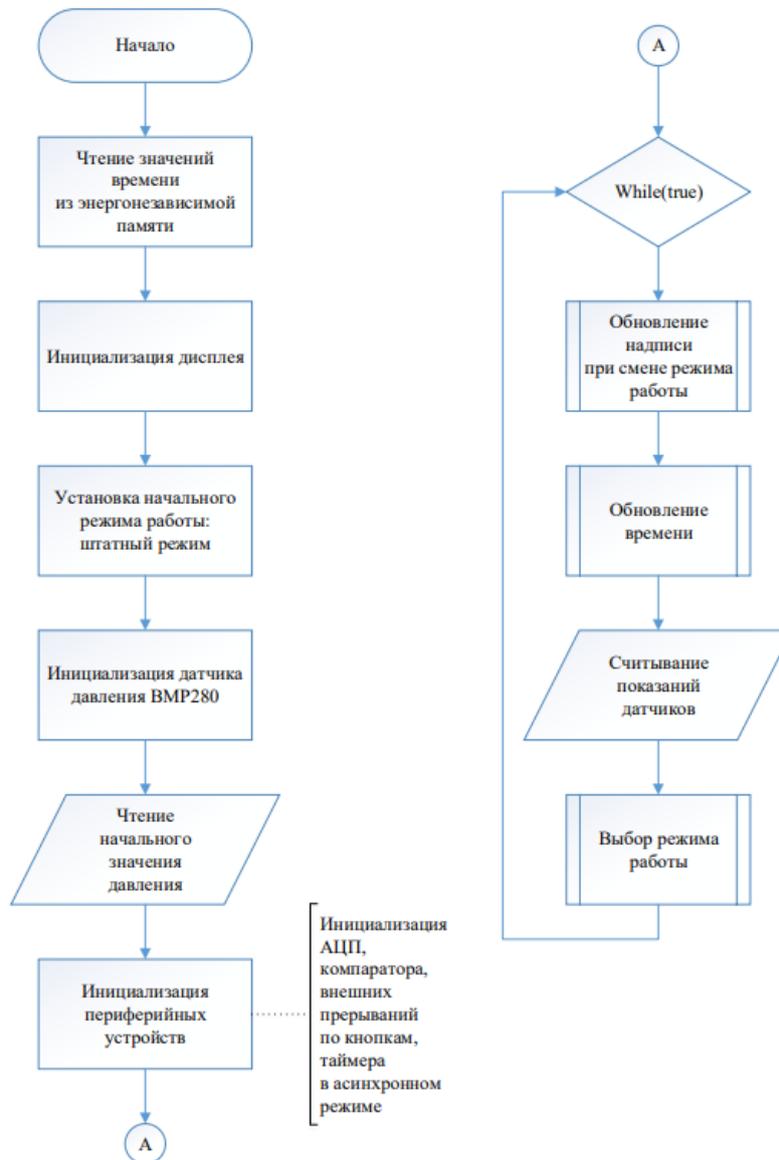


Рис. 4. Основной алгоритм работы программы микроконтроллера

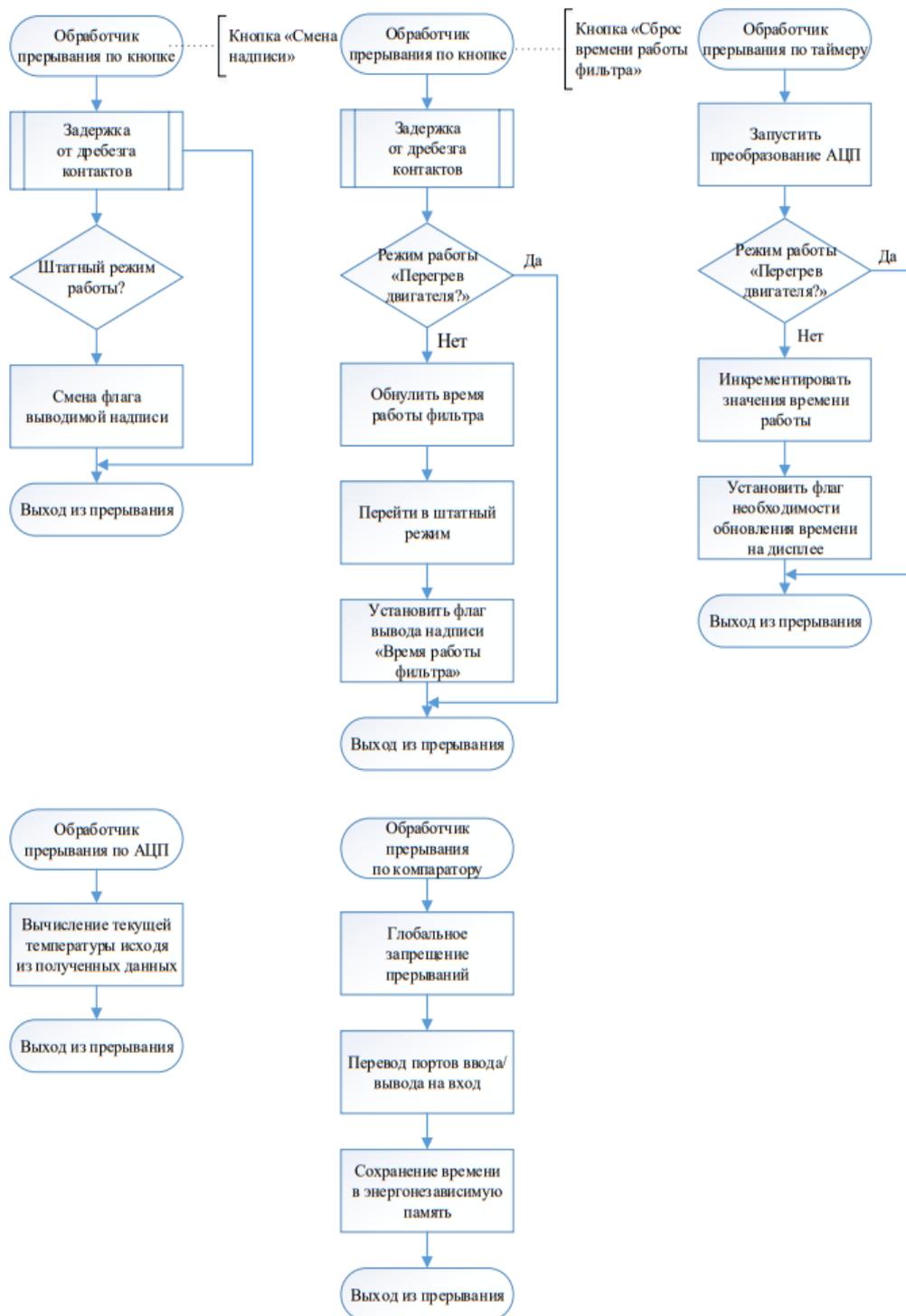
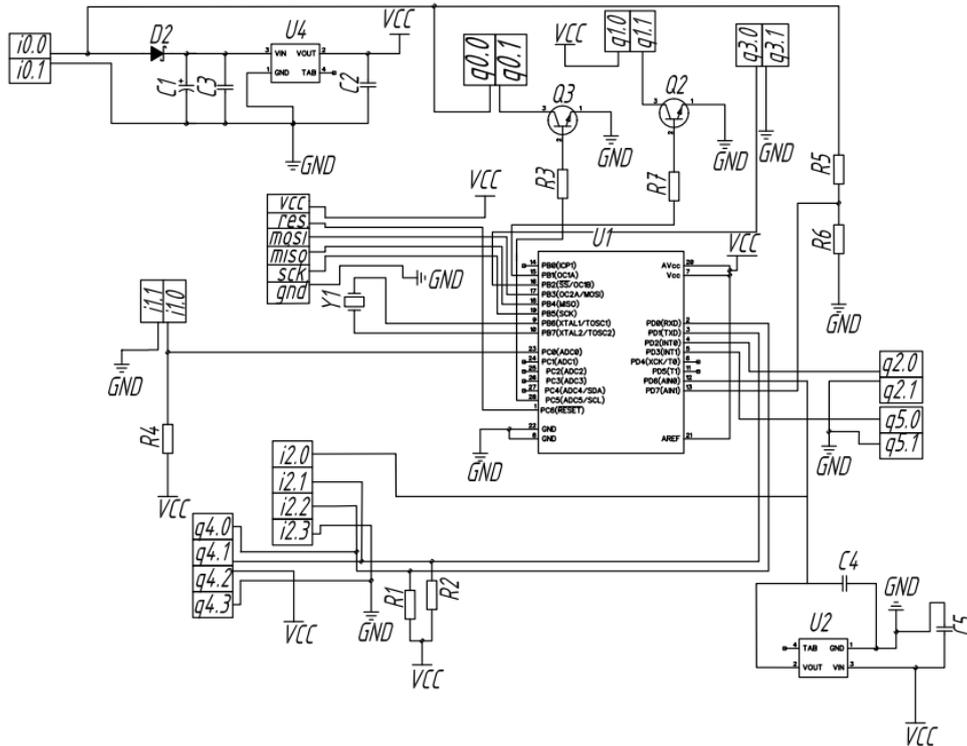


Рис. 5. Алгоритмы обработок прерываний микроконтроллера

**Реализация решения.** Согласно требованиям разработчика микросхемы U2010b, в режиме плавного пуска и управления оборотами двигателями были подобраны мощности и номиналы резисторов и спроектирована электрическая принципиальная схема силовой платы [7]. В соответствии с документацией на компоненты индикаторной платы была разработана электрическая принципиальная схема (рис. 6).



**Рис. 6.** Основная часть электрической принципиальной схемы индикаторной платы

Центральным звеном на схеме является микроконтроллер, обозначенный как U1. Выходы vcc, res, mosi, miso, sck, gnd используются для его программирования. К выходам i1.1 и i1.0 подключается термистор 10Ком через делитель напряжения. i2.0, i2.1, i2.2, i2.3 и q2.0, q4.1, q4.2, q4.3 предназначены для датчика давления и дисплея соответственно. К q2.0, q2.1 и q5.0,q5.1 припаиваются кнопки [8, 9].

Для адекватного подсчета времени работы устройства необходимо сохранять текущее значение времени работы при выключении установки. Для этого используется компаратор, на неинвертирующий вход AIN0 которого подается стабильное напряжение 3,3 В со стабилизатора напряжения, а на инвертирующий вход AIN1 — напряжение с блока питания 12 В через делитель

напряжения [7]. Для обеспечения времени, необходимого для записи данных в энергонезависимую память, перед основным преобразователем напряжения 12...5 В параллельно блоку питания через диод установлен электролитический конденсатор с параметрами 16 В и 3300 мкФ. При отключении установки от сети происходит понижение напряжения на выходе блока питания и соответственно на инвертирующем входе AIN1 компаратора, в то время как на неинвертирующем входе AIN0 остается стабильное напряжение 3,3 В. Компаратор генерирует прерывание, в котором запрещаются все прерывания, порты ввода/вывода конфигурируются на вход и происходит запись данных в EEPROM-память.

Управление лампой 12 В и зуммером осуществлено с помощью транзисторов. Клеммы q3.0, q3.1 выведены для подачи сигнала на реле.

Принципиальные схемы переносятся в любую eCAD-систему для того, чтобы развести печатные платы. Для данного проекта была выбрана программа DipTrace, поскольку она позволяет разрабатывать принципиальные схемы в соответствии с ГОСТ, и на основе них пользователь в ручном или автоматическом режиме осуществляет трассировку печатной платы.

После окончания трассировки необходимо выгрузить из eCAD-системы gerber-файлы, по которым на производстве изготавливают печатные платы. Однако ввиду ограниченности ресурсов и времени было принято решение для тестовых испытаний изготовить две платы лазерно-утюжной технологией без специализированного оборудования. Лазерно-утюжная технология (ЛУТ) — это метод изготовления печатных плат переносом рисунка напечатанного на лазерном принтере на медное покрытие текстолита посредством нагрева утюгом (термоперенос) [10]. Далее были просверлены необходимые отверстия под электронные компоненты, выполнены лужение платы и пайка электронных компонентов.

**Испытание.** Для проведения испытаний был собран экспериментальный стенд, демонстрирующий работу блока управления фильтровентиляционной установкой. К силовой плате подключены коллекторный двигатель мощностью 1 кВт и реостат, позволяющий регулировать число оборотов. К индикаторной плате подключены периферийные устройства. Обе платы соединены между собой через твердотельное реле. Для питания одной из плат используется блок питания, преобразующей напряжения сети в напряжение 12 В постоянного тока. В системе предусмотрен предохранитель. На рис. 7 изображена система в работе.

После были составлены программа и методика испытаний, чтобы проверить систему на соответствие всем изначально предъявляемым требованиям. Испытания проведены успешно, это дает возможность приступить к серийному промышленному производству данных плат для вытяжных установок.

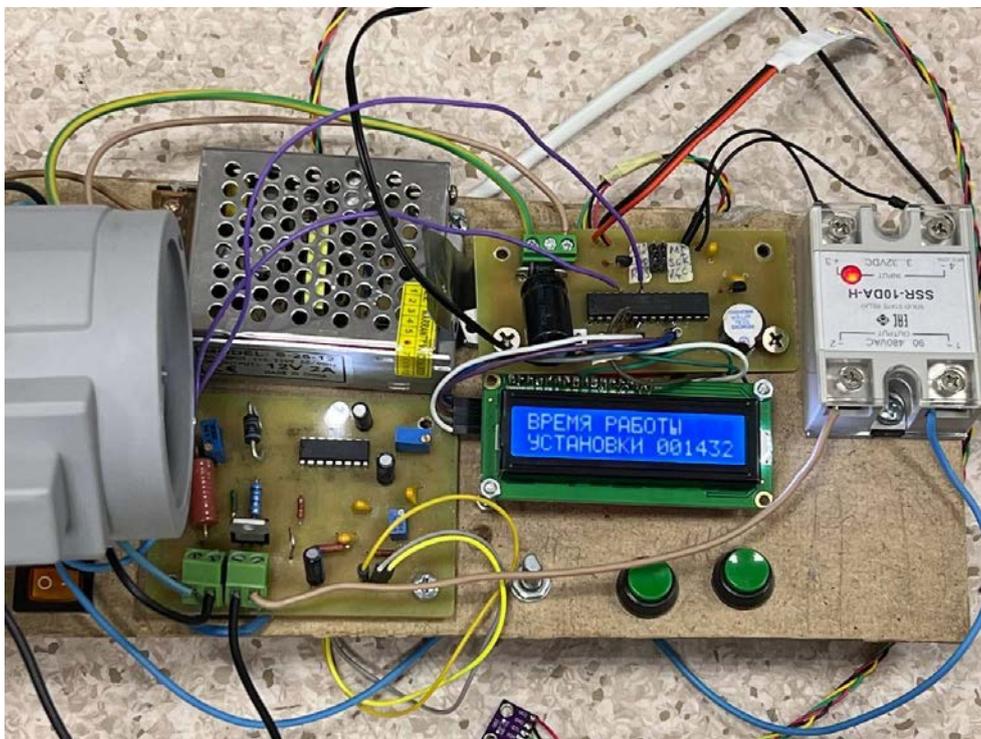


Рис. 7. Экспериментальный стенд

**Заключение.** Одним из базовых понятий в экономике производства является модернизация. Она позволяет увеличивать период эксплуатации жизненного цикла продукции и делает компанию более конкурентоспособной [11], поэтому современные предприятия уделяют этому большое внимание. В данной статье показан пример усовершенствования существующей системы управления промышленного оборудования путем внедрения микроконтроллера и соответствующих периферийных устройств. Был разработан алгоритм управления, вытравлены печатные платы и успешно проведены испытания образца.

### Литература

- [1] Виноградов С.А. Специальные требования к отдельным видам электрогазосварочных процессов. *Современные технологии обеспечения безопасности на железнодорожном транспорте. III междунар. студенческая конф.: сб. ст.* Воронеж, Филиал РГУПС в г. Воронеж, 2021, с. 227–229.
- [2] Лямцев С.В. *Система автоматического управления лазерного станка.* Бакалаврская работа. Красноярск, СФУ, 2020, 64 с.
- [3] Шахнов В.А., Власов А.И., Поляков Ю.А., Кузнецов А.С. Нейрокомпьютеры: архитектура и схемотехника. *Информационные технологии*, 2000, № 9, приложение, 64 с.
- [4] Власов А.И. Аппаратная реализация нейровычислительных управляющих систем. *Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика*, 1999, № 2, с. 61–65.

- [5] *U2010B Version 1.0 Page 1 Phase Control Circuit for Current Feedback*. URL: [https://datasheet.lcsc.com/szlcsc/U2010B\\_C143004.pdf](https://datasheet.lcsc.com/szlcsc/U2010B_C143004.pdf) (accessed March 15, 2023).
- [6] Мысловский Э., Власов А., Акристиный М. Краткий обзор популярных семейств современных микроконтроллеров. *Электронные компоненты*, 2002, № 5, с. 47–50.
- [7] *Datasheet ATmega8/ATmega8L. Atmel Corporation*. URL: [http://www.atmel.com/images/atmel-2486-8-bit-avr-microcontroller-atmega8\\_1\\_datasheet.pdf](http://www.atmel.com/images/atmel-2486-8-bit-avr-microcontroller-atmega8_1_datasheet.pdf) (accessed March 15, 2023).
- [8] Ларина Е.А., Леонидов В.В., Москалев Н.С. Методика проектирования цифровых систем управления на базе AVR-микроконтроллеров. *Международный научно-исследовательский журнал*, 2016, № 6-2 (48), с. 87–94.  
<http://doi.org/10.18454/IRJ.2016.48.173>
- [9] Хартов В.Я. *Микроконтроллеры AVR. Практикум для начинающих*. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012, 281 с.
- [10] Рахманов Д.Е. Травление печатных плат методом «ЛУТ». *Информация и образование: границы коммуникаций*, 2019, № 11 (19), с. 131–132.
- [11] Федотова А.В. Системы управления жизненным циклом продукции нового поколения, основанные на знаниях. *Инженерный вестник*, 2016, № 11, с. 8. URL: <http://ainjournal.ru/doc/851204.html> (дата обращения 15.02.2023).

**Гафаров Булат Рустемович** — студент кафедры «Компьютерные системы автоматизации производства», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

**Зайцев Иван Андреевич** — студент кафедры «Робототехнические системы и мехатроника», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

**Научный руководитель** — Гавриленков Сергей Игоревич, кандидат технических наук, ассистент кафедры «Компьютерные системы автоматизации производства», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация. E-mail: [gavrilenkovsergei@bmstu.ru](mailto:gavrilenkovsergei@bmstu.ru)

**Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:**

Гафаров Б.Р., Зайцев И.А. Система управления мобильной фильтровентиляционной установки для промышленного оборудования на базе микроконтроллера Atmega8. *Политехнический молодежный журнал*, 2023, № 04 (81).  
<http://dx.doi.org/10.18698/2541-8009-2023-4-880>

---

## CONTROL SYSTEM FOR MOBILE FILTER-VENTILATION UNIT FOR INDUSTRIAL EQUIPMENT BASED ON ATMEGA8 MICROCONTROLLER

**B.R. Gafarov**

gafarovbr@student.bmstu.ru

**I.A. Zaitsev**

zaitsevia4@student.bmstu.ru

**Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation**

---

### **Abstract**

*In the manufacturing market, most of the process equipment contains control systems. At the moment, there is a problem of high cost and inaccessibility of such systems. However, the areas of science that are fundamental in the development of these systems, such as electronics, microelectronics and programming, are rapidly developing. This allows companies to significantly upgrade their products through the use of microprocessor technology. This article highlights the application of relatively new technologies in the development of control systems for industrial facilities. On the example of an exhaust unit, the paper presents ways to improve control systems. Electrical circuits were developed, methods for saving data to the non-volatile memory of the microcontroller were described, a control algorithm for the microcontroller was written, a stand was assembled demonstrating the operation of the system, and the results of primary tests were presented. The results obtained allowed us to significantly reduce the cost of the system and make it more affordable through the use of standard electronic components. The research materials can be used in the implementation of the soft start of collector motors and their control. And also when improving systems where microcontrollers are used.*

### **Keywords**

*Printed circuit board, microcontroller, microcircuit, exhaust unit, electronics, Atmega8, collector motor, soft start*

Received 24.03.2023

© Bauman Moscow State Technical University, 2023

---

### **References**

- [1] Vinogradov S.A. Special requirements for certain types of electric and gas welding processes. *Sovremennye tekhnologii obespecheniya bezopasnosti na zheleznodorozhnom transporte. III mezhdunarodnaya studencheskaya konferentsiya: sbornik statey* [Modern technologies for ensuring safety in railway transport. III international student conference: collection of articles]. Voronezh, Branch of RGUPS in Voronezh Publ., 2021, pp. 227–229. (In Russ.).
- [2] Lyamtsev S.V. *Sistema avtomaticheskogo upravleniya lazernogo stanka* [Automatic control system of the laser machine]. Bachelor's work. Krasnoyarsk, SFU Publ., 2020, 64 p. (In Russ.).

- [3] Shakhnov V.A., Vlasov A.I., Polyakov Yu.A., Kuznetsov A.S. Tech. Neurocomputers: architecture and circuitry. *Information Technologies*, 2000, no. 9, appendix, 64 p. (In Russ.).
- [4] Vlasov A.I. Hardware implementation of neurocomputing control systems. Devices and systems. *Upravlenie, kontrol', diagnostika*, 1999, no. 2, pp. 61–65. (In Russ.).
- [5] *U2010B Version 1.0 Page 1 Phase Control Circuit for Current Feedback*. URL: [https://datasheet.lcsc.com/szlcsc/U2010B\\_C143004.pdf](https://datasheet.lcsc.com/szlcsc/U2010B_C143004.pdf) (accessed March 15, 2023).
- [6] Myslovsky E., Vlasov A., Akristiny M. Brief review of popular families of modern microcontrollers. *Elektronnyye komponenty*, 2002, no. 5, pp. 47–50. (In Russ.).
- [7] *Datasheet ATmega8/ATmega8L. Atmel Corporation*. URL: [http://www.atmel.com/images/atmel-2486-8-bit-avr-microcontroller-atmega8\\_l\\_datasheet.pdf](http://www.atmel.com/images/atmel-2486-8-bit-avr-microcontroller-atmega8_l_datasheet.pdf) (accessed March 15, 2023).
- [8] Larina E.A., Leonidov V.V., Moskalev N.S. Technique of design of digital control systems on the basis of AVR-mikrokontrollerov. *International Research Journal*, 2016, no. 6–2 (48), pp. 87–94. (In Russ.). <http://doi.org/10.18454/IRJ.2016.48.173>
- [9] Khartov V.Ya. *AVR microcontrollers. Practicum for beginners* [Mikrokontrollery AVR. Praktikum dlya nachinayushchikh]. Moscow, BMSTU Press, 2012, 281 p. (In Russ.).
- [10] Rakhmanov D.E. Etching of printed circuit boards using the LUT method. *Informatsiya i obrazovanie: granitsy kommunikatsiy*, 2019, no. 11 (19), pp. 131–132. (In Russ.).
- [11] Fedotova A.V. New generation knowledge-based product life cycle management systems. *Inzhenernyy vestnik*, 2016, no. 11, 8 p. (In Russ.). URL: <http://ainjournal.ru/doc/851204.html> (accessed February 15, 2023).

**Gafarov B.R.** — Student, Department of Computer Systems for Industrial Automation, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

**Zaitsev I.A.** — Student, Department of Robotic Systems and Mechatronics, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

**Scientific advisor** — Gavrilentov S.I., Cand. Sc. (Eng.), Assistant of Department of Computer Systems for Industrial Automation, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

**Please cite this article in English as:**

Gafarov B.R., Zaitsev I.A. Control system for mobile filter-ventilation unit for industrial equipment based on Atmega8 microcontroller. *Politekhnicheskii molodezhnyy zhurnal*, 2023, no. 04 (81). (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.18698/2541-8009-2023-4-880>