



РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ НА БАЗЕ ПРОГРАММИРУЕМОГО ЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЛЕРА TM171PDM27S SCHNEIDER ELECTRIC

В.Р. Иванова, В.В. Новокрещенов, Н.В. Роженцова

Казанский государственный энергетический университет,
г. Казань, Россия

vr-10@mail.ru, vitnov@inbox.ru, natalia15969@yandex.ru

Резюме: Системы вентиляции и кондиционирования необходимы для регулирования воздухообмена, поддержания температуры и влажности, обеспечения комфортного микроклимата. Их установка безусловно является актуальной в помещениях различного назначения: на промышленных объектах, в жилых зданиях, в административных учреждениях, складских помещениях и других. В целях эффективного выполнения и качественного функционирования вентиляции необходимо внедрение автоматизированных схем управления работой данных систем, а также использование разнообразного современного оборудования (вентиляционные агрегаты, вентиляционные установки, шумоглушители, воздушные фильтры, воздухонагреватели и др.) для увеличения надежности очистки воздушного пространства и экономичности изготовления системы в целом.

В работе представлены схема и алгоритм эффективного управления технологического процесса вентиляционной системы промышленного предприятия на базе программируемого логического контроллера TM171PDM27S Schneider Electric. Проведен анализ существующих вентиляционных систем, представлено описание устройств вентиляционных систем, представлен внешний вид стенда, обоснован выбор программируемого логического контроллера, указаны методические рекомендации по приобретению навыков программирования с помощью среды EcoStruxure Machine Expert – HVAC, организовано автоматическое управление приточной вентиляционной системой для литейного цеха промышленного предприятия для целей наглядного изучения элементов систем вентиляции, способов регулирования и контроля параметров в вентиляционных системах. Основной целью создания обучающего стенда выступает изучение настройки и режимов работы автоматизированных систем управления вентиляцией и кондиционированием. В ходе дальнейшего усовершенствования схемы возможно проведение занятий следующего характера: определение статических и динамических характеристик вентилятора; изучение характеристик автоматизированной заслонки; регулирование давления путем управления вентилятором и др.

Ключевые слова: вентиляционная система, преобразователь частоты, асинхронный двигатель, программируемый логический контроллер TM171PDM27S, алгоритм, приточная вентиляция, очищение воздуха.

Для цитирования: Иванова В.Р., Новокрещенов В.В., Роженцова Н.В. Разработка алгоритма для эффективного управления технологическим процессом промышленного предприятия на базе программируемого логического контроллера TM171PDM27S Schneider Electric // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2020. Т. 22. № 2. С. 75-85. doi:10.30724/1998-9903-2020-22-2-75-85.

**DEVELOPMENT OF AN ALGORITHM FOR EFFECTIVE MANAGEMENT OF THE
TECHNOLOGICAL PROCESS OF THE INDUSTRIAL ENTERPRISE
BASED ON THE PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER TM171PDM27S
SCHNEIDER ELECTRIC**

VR. Ivanova, VV. Novokreshenov, NV. Rozhencova

Kazan state power engineering university, Kazan, Russia

Abstract: Ventilation and air conditioning systems are necessary to regulate air exchange, maintain temperature and humidity, and provide a comfortable microclimate. Their installation is certainly relevant in premises for various purposes: at industrial facilities, in residential buildings, in administrative institutions, warehouses and others. In order to effectively carry out and ensure the proper functioning of ventilation, it is necessary to introduce automated control schemes for the operation of these systems, as well as the use of various modern equipment (ventilation units, ventilation units, silencers, air filters, air heaters, etc.) to increase the reliability of airspace cleaning and the cost-effectiveness of manufacturing the system generally.

The paper presents the scheme and algorithm for the effective control of the technological process of the ventilation system of an industrial enterprise based on the TM171PDM27S Schneider Electric programmable logic controller. The analysis of existing ventilation systems is carried out, the description of ventilation systems is presented, the stand's appearance is presented, the choice of a programmable logic controller is justified, methodological recommendations for acquiring programming skills using the EcoStruxure Machine Expert - HVAC environment are presented, automatic control of the supply ventilation system for the foundry of an industrial enterprise is organized goals of a visual study of elements of ventilation systems, methods of regulation and control of parameters in ventilation systems. The main goal of creating a training stand is to study the settings and operating modes of automated ventilation and air conditioning control systems. In the course of further improvement of the circuit, classes of the following nature are possible: determination of the static and dynamic characteristics of the fan; study of the characteristics of an automated damper; pressure regulation by controlling a fan, etc.

Keywords: ventilation system, frequency converter, induction motor, programmable logic controller TM171PDM27S, algorithm, forced ventilation, air purification.

For citation: Ivanova VR, Novokreshenov VV, Rozhencova NV. Development of an algorithm for effective management of the technological process of the industrial enterprise based on the programmable logic controller TM171PDM27S Schneider Electric // *Power engineering: research, equipment, technology*. 2020; 22(2):75-85. doi:10.30724/1998-9903-2020-22-2-75-85.

Введение и литературный обзор

Процесс удаления отработанного воздуха из помещения и его замена на внешний носит емкое название – вентиляция. Необходимость создания такого процесса носит обязательный характер. Последнее связано с важностью очистки загрязненного воздуха. Согласно санитарно-гигиеническим условиям пребывания человека в помещении имеется несколько показателей, которые необходимо контролировать и регулировать:

- нормализация уровня углекислого газа для поддержания полноценного обогащения крови и органов человека кислородом;
- нормализация уровня влажности для исключения образования влажных участков на стенах и в углах помещения [1, 2].

Система вентиляции носит сложноорганизованный характер, в которой используются множество видов инженерного оборудования, поэтому для совершенствования и простоты управления такими комплексными решениями есть необходимость использования автоматизации. Она позволит обеспечить работу в соответствии с установленными алгоритмами и производить контроль и мониторинг состояния и работоспособности всех элементов.

В зависимости от площади, конфигурации, местонахождения и назначения кабинетов, офисов, производственных помещений и других вентиляционные системы классифицируются:

- по способу циркуляции воздуха (естественная и принудительная);
- по конструктивному исполнению (канальная и без канальная);

- по назначению (вытяжная, приточная);
- по дополнительному функционалу (вентиляция с подогревом, с фильтрацией) [3-5].

Вентиляционные системы включают большое количество разнообразного оборудования: вентиляторы, которые представляет собой устройства для перемещения воздуха по воздуховодам, вентиляционные агрегаты, вентиляционные установки. Для организации различного способа воздухообмена (общеобменного, местного, аварийного, противодымного) для новых зданий или при реконструкции уже существующих объектов согласно техническому заданию заказчика, руководствуются основным нормативным актом – СНиП 41-01-2003, в котором указаны параметры пожарной, экологической, санитарной безопасности при эксплуатации систем, критерии надежности и энергосбережения. Каждый из способов проектируется согласно определенной технологической схеме процесса. Примерами типовых из них являются следующие:

- приточная вентиляция с одним теплообменным агрегатом (или с двумя теплообменными агрегатами), где реализуется управление приточной системой с водяным нагревателем. Управление осуществляет контроллер, который обеспечивает поддержание заданной температуры и с помощью сигнала с аналогового выхода управляет вентилем (в случае с двумя теплообменными агрегатами контроллер управляет приточной системой с водяным нагревателем и водяным охладителем) [6].

- приточная система вентиляции с рециркуляцией воздуха, в данной схеме контроллер управляет работой воздушной заслонки и водяным нагревателем. При этом поддерживается заданная температура канального воздуха благодаря чему обеспечиваются отдельные настройки для летнего и зимнего периодов [7].

- приточно-вытяжная система вентиляции с роторным рекуператором. В такой системе поддерживается канальная температура воздуха, регулирование которой осуществляется с аналоговых выходов контроллера скоростью вращения роторного рекуператора и вентилями водяного нагревателя [8-10].

- приточно-вытяжная система вентиляции с роторным рекуператором и двумя теплообменными агрегатами. Для реализации такой схемы управления применяется два контроллера, которые образуют более мощную распределенную систему, позволяющую управлять приточно-вытяжной системой с роторным рекуператором, водяным нагревателем и водяным охладителем. Во время работы также обеспечивается поддержание температуры канального воздуха, ее регулирование производится последовательным пропорциональным управлением с аналоговых выходов обоих контроллеров скоростью вращения роторного рекуператора, вентилем водяного нагревателя и вентилем водяного охладителя [9, 11].

- вытяжные установки и вентиляторы. При реализации алгоритмов управления систем с вытяжными установками задают блок условий контроллера, при этом количество вытяжных вентиляторов, подключаемых к контроллеру, определяется наличием свободных дискретных входов-выходов. Также можно сформировать алгоритм управления вытяжными вентиляторами по превышению концентрации пороговых величин вредных газов и паров, подключая к аналоговым входам соответствующие преобразователи [12, 13].

- тепловые воздушные завесы. В такой системе контроллер управляет воздушной тепловой завесой с водяным нагревателем, за основу принята конфигурация приточной установки. В качестве модификации этой конфигурации есть возможность ввести ступенчатое регулирование скорости вентилятора, использовать дополнительный источник обогрева на малой скорости и др. [14, 15].

Конфигурации вышеприведенных схем могут быть изменены по усмотрению пользователя, поэтому вариантов алгоритмов работы вентиляционных систем может быть большое количество.

В работе предлагается схема и алгоритм эффективного управления технологического процесса вентиляционной системы промышленного предприятия на базе программируемого логического контроллера *TM171PDM27S Schneider Electric*. Реализованный алгоритм планируется использовать в качестве наглядного пособия в учебных заведениях для обучающихся по образовательной программе направления подготовки 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника.

Материалы и методы

Целью создания стенда является введение в учебный процесс усовершенствованного оборудования и наглядного изучения элементов систем вентиляции, способов регулирования и контроля параметров в вентиляционных системах.

Основной упор в работах по ознакомлению будет сделан на приобретение навыков составления прикладных программ для промышленных контроллеров *Schneider Electric* и организацию автоматического управления вентиляционной системой с помощью программного обеспечения *EcoStruxure Machine Expert - HVAC*.

При проектировании вентиляционных систем промышленных сооружений учитываются ряд требований таких как площадь производственных помещений; высота потолков; категория работ и производственных операций; количество работающих людей в помещении; уровень загруженности промышленного помещения; расположение рабочих мест. Проектирование и расчет осуществляется на этапе подготовки строительной документации в соответствии с Санитарными нормами и правилами (СНиП).

Промышленные объекты и производственные площади оснащаются вентиляционными системами. Такие системы имеют отличия по размерам и наличия специфических элементов. Последнее связано с видом производственных мероприятий, в результате которых происходит выделение различных веществ и загрязнение воздуха. Для обеспечения высокой степени рациональности, избавляющей пользователей от ручного контроля индикаторов, существует необходимость организации автоматизированных вентиляционных систем [5-7].

В работе представлен вариант автоматического управления приточной вентиляционной системой для литейного цеха промышленного предприятия. Эффективная вентиляция литейных цехов является одним из важнейших требований создания оптимальных санитарно-гигиенических условий труда в металлургическом производстве. В связи с тем, что устройство вентиляции в масштабах литейного цеха является дорогостоящим мероприятием, в целях экономии при проектировании производят сочетание двух типов воздухообмена – естественного и принудительного, а также стараются снизить выделение вредных субстанций в воздух за счет современных технологий производства и автоматизации процессов. В настоящее время существует большое количество схемных решений по осуществлению управления работы вентиляционных систем. В работе предлагается внедрение автоматического управления. Основными достоинствами которой могут выступать снижение затрат на электричество; эксплуатацию инженерных устройств; экономию на тепло- и холодопотребления; обеспечение эффективной организации воздухообмена в помещениях за счет задания нужных параметров температур, интенсивности потока, благоприятного микроклимата; полный контроль работы вентиляторов, фильтров и т.п.; защита в аварийных ситуациях за счет интегрированных устройств оповещения, пожаротушения в систему автоматизации [16, 17].

На первом этапе реализации проекта выполнен аналитический обзор известных систем вентиляции, рассмотрены варианты организации таких систем на промышленных предприятиях.

Следующим шагом стал выбор и обоснование оборудования для реализации системы вентиляции. Далее разработаны принципиальная и монтажная схема. По результатам этих этапов определен уровень мощности, производительность, общий вес оборудования, тип и количество элементов, порядок расположения комплектующих системы вентиляции. После этого работа была посвящена построению алгоритма, написанию программы и осуществлению пуско-наладки стенда.

Для осуществления автоматического управления работы стенда выбран программируемый логический контроллер *TM171PDM27S Schneider Electric* (ПЛК). Указанный ПЛК идеально подходит для сложных машин с широкими возможностями передачи данных. В состав серии входит 6 моделей, которые могут использоваться для управления 28-42 встроенными дискретными или аналоговыми входами/выходами [18].

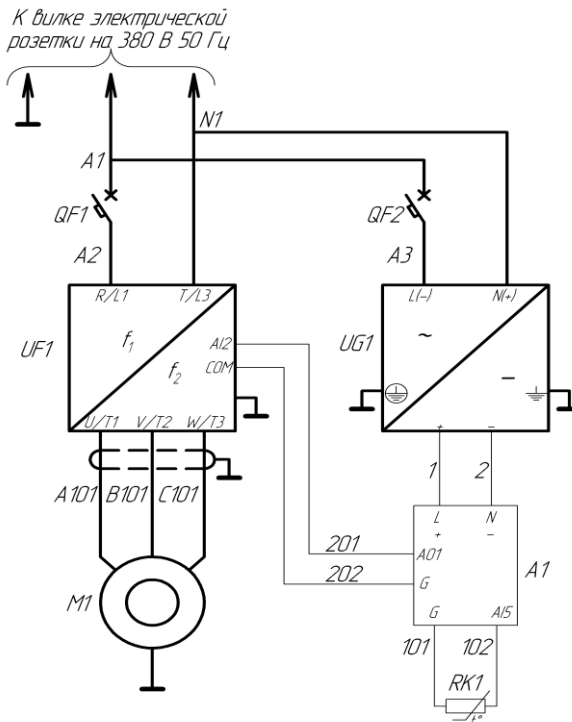
Основным преимуществом ПЛК выступает наличие обширных коммуникационных возможностей и встроенный веб-сервис *Modicon*. Наибольшее применение нашли в шкафах управления насосами, щитах управления вентиляцией, станциях повышения давления, шкафах управления двигателем с частотным преобразователем, в распределительных щитах с АВР с секционированием для построения автоматической логики работы и др. [13, 14].

Все модели данной серии ПЛК выпускаются с двумя видами корпусов: со встроенным дисплеем и с выносным графическим терминалом, могут быть оснащены встроенной *Ethernet*-технологией. Помимо этого, они имеют высокую масштабируемость за счет наличия различных комбинаций встроенных интерфейсов подключения, обладают простотой установки и эксплуатации с удобным алгоритмом запуска системы и с высокой

производительностью.

В силу всех перечисленных преимуществ ПЛК для реализации стенда был выбран именно *TM171PDM27S Schneider Electric*.

Для реализации автоматического управления вентиляционной системой и для показа принципа работы и взаимодействия составляющих элементов в порядке очередности их срабатывания и демонстрации логики, предложена следующая принципиальная электрическая схема, основные элементы схемы с характеристиками представлены в спецификации (рис. 1).



Обознач. в схеме	Наименование	Тип	Технические данные
QF1, QF2	Выключатель автоматический	A9F79110	1 полюс, номинальный ток 10А, характеристика С, предельная отключающая способность 6кА
UF1	Преобразователь частоты	ATV312H075M3	Мощность двигателя 0,75 кВт, номинальное напряжение сети 200-240 В, частота сети питания 50-60 Гц, Число фаз сети 3 фазы
UG1	Блок питания	ABL8REM24030	Выходное напряжение 24 В, выходной ток 3 А
M1	Асинхронный электродвигатель		Номинальная мощность 0,11 – 0,75 кВт, номинальное напряжение 220/380 В
A1	Программируемый контроллер	TM171PDM27S	Количество входов/выходов: 27
RK1	Датчик температуры	TM1STPTTSN62030	Длина кабеля 3 м, IP68

Рис. 1. Схема электрическая принципиальная, спецификация

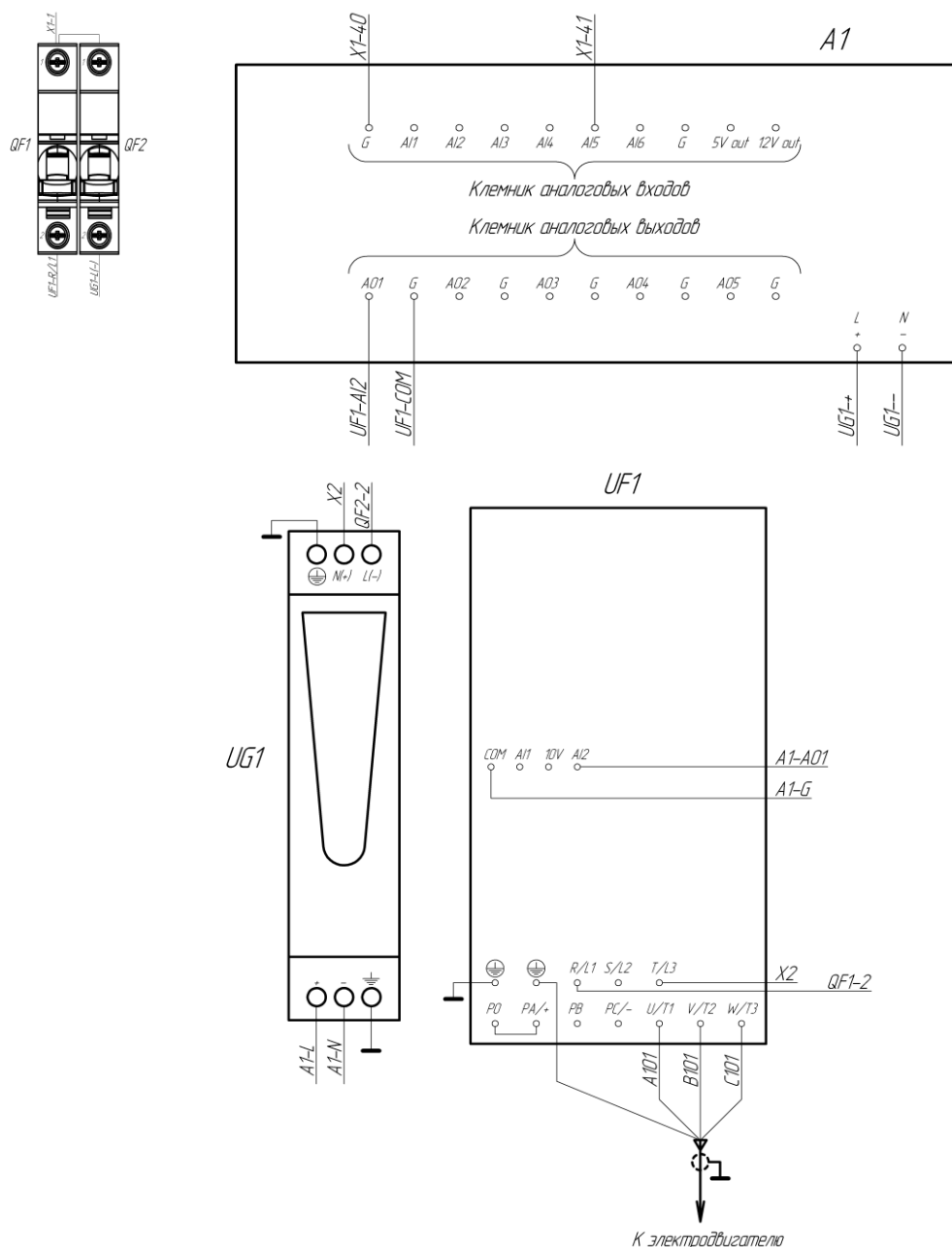
Питание на стенд подаётся посредством трёхфазной вилки, подключаемой к электрической розетке на 380 Вольт (50 Гц). В схеме стенда из трёх фаз присутствующих в розетке подаётся и используется только одна (фаза А). Данное техническое решение (питание однофазного потребителя посредством трёхфазной розетки) было принято с целью исключить возможность инверсии фазы и нуля между собой в схеме стенда посредством возможности двоякого подключения обычной вилки к бытовой розетке.

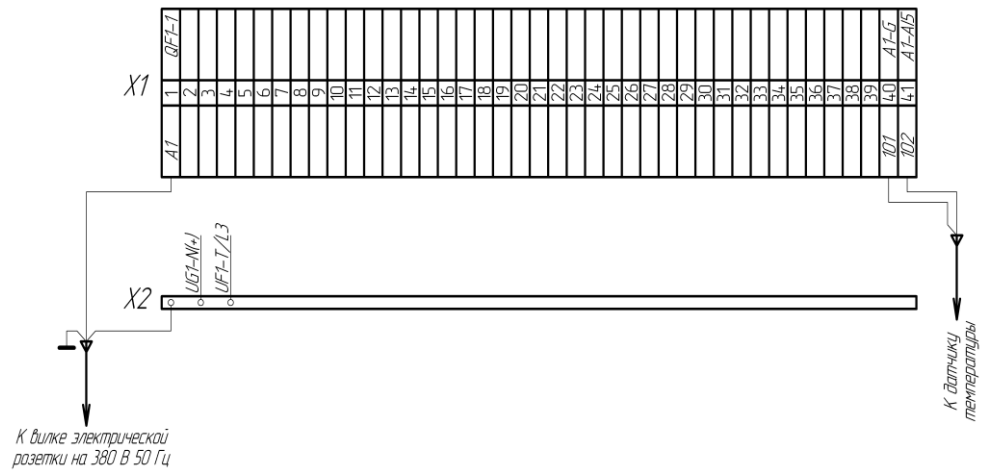
Для нормальной работы частотного преобразователя *UF1* на его вход требуется подать трёхфазное напряжение 220 Вольт 50 Герц (межфазное значение напряжения). Так же (при соответствующей настройке) предусмотрена возможность питания частотного преобразователя от двух фаз с таким же междуфазным напряжением или однофазным напряжением 220 Вольт 50 Герц. Для проведения практических работ частотный преобразователь запитан однофазным напряжением 220 Вольт 50 Герц. Для защиты входа частотного преобразователя от сверхтоков фаза на его вход подводится через автоматический выключатель *QF1*. К выходу частотного преобразователя подключается асинхронный электродвигатель *M1* [15]. Связь между выходом частотного преобразователя и двигателем осуществляется посредством экранированного кабеля.

Экран кабеля соединён с корпусом стенда, таким образом, предотвращается излучение помех жилами кабеля при работе частного преобразователя.

Для осуществления обратной связи используется программируемый контроллер A1. Контроллер требует на своём входе постоянное напряжение 24 Вольта, поэтому для его питания используется блок питания UG1. Для защиты входа блока питания от сверхтоков фаза на его вход подводится через автоматический выключатель QF2. Для контроля температуры используется датчик температуры RK1. Он подключается к клеммам аналогового входа контроллера A1. Связь между частотным преобразователем и контроллером осуществляется с помощью канала постоянного тока 0 – 10 Вольт.

На основе принципиальной схемы разработана монтажная схема (рис. 2), которая содержит всю необходимую информацию по производству монтажа электроустановки, включая выполнение электрических соединений (рис. 3).





б)

Рис. 2. Схема электрическая монтажная

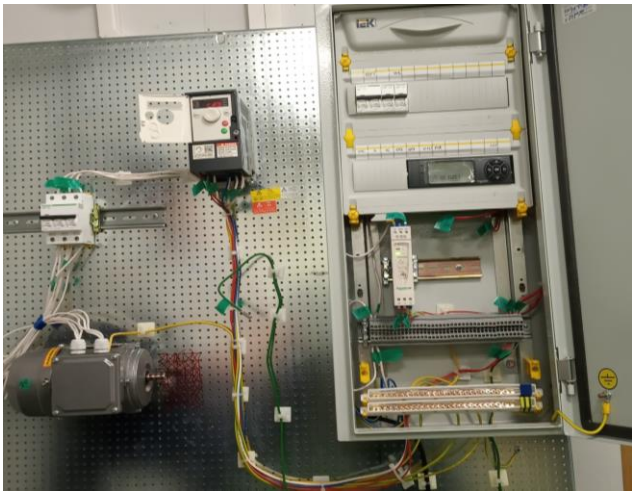


Рис. 3. Внешний вид стенда на этапе сборки

Результаты

С помощью схемы, описанной выше, реализован следующий алгоритм автоматического управления вентиляционной системой для литейного цеха промышленного предприятия. Согласно схемы, необходимо чтобы двигатель вентилятора включался при температуре воздуха в помещении t_1 , а при достижении температуры воздуха в помещении t_2 работал на полную мощность, при этом зависимость скорости вращения вентилятора от температуры воздуха должна носить линейный характер (табл. 1).

Таблица 1.

°C	Вариант №1	Вариант №2	Вариант №3	Вариант №4	Вариант №5
t_1	24	24,5	25	25,1	25,7
t_2	34	34,5	35	36	36,3

Описание работы схемы. Контроллер A1, в соответствии с записанной в него программой (поддержание нужной температуры в помещении) измеряет сопротивление термодатчика (сопротивление которого пропорционально температуре среды, в которой он находится) и посредством канала постоянного тока 0 – 10 Вольт воздействует на преобразователь частоты. Когда контролируемая температура достигает определённой уставки и начинает её превышать, контроллер подаёт на частотный преобразователь постоянное напряжение с аналогового выхода A01-G. Уровень этого напряжения зависит от частоты и изменяется пропорционально разнице температур окружающей среды и заданной уставке (рис. 4). Скорость вращения вентилятора ограничивается номинальной электрической частотой двигателя – 50 Гц.

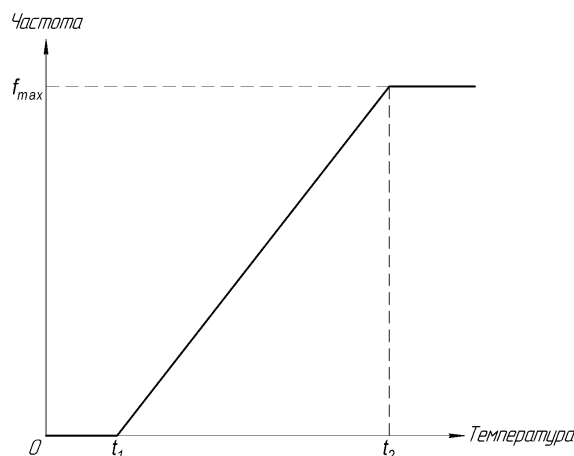


Рис. 4. Зависимость частоты, выдаваемой частотным преобразователем на двигатель, от температуры

Для наглядности и для удобства отслеживания зависимости оборотов двигателя от температуры прямая линейной зависимости имеет значительную протяжённость по оси температуры (10 и более градусов).

Программирование ПЛК *TM171PDM27S Schneider Electric* производилось с помощью среды *EcoStruxure Machine Expert – HVAC*. В пособии по практическим занятиям приведена методика и последовательность выполнения создания программы [22]. Среда *EcoStruxure Machine Expert – HVAC* – это программная платформа, позволяющая производить программирование логических контроллеров *Modicon M171-M172*. Она включает: программирование ПЛК, настройку и расширение шин и сетей, создание экрана дисплеев, настройку коммуникационных модулей BMS на *BACnet MS / TP* (профиль B-AAC), *Modbus SL*, *Modbus TCP*, *BACnet MS / TP*, *BACnet IP* (профиль B-AAC) и *LonWorks (FFT-10)*, выделение библиотек. С помощью данного приложения предлагается описание алгоритма на одном из самых популярных языков программирования ПЛК – графический язык функциональных блокковых диаграмм *FBD (Function Block Diagram)*, этот язык использует в своей архитектуре подобие электронной схеме [16-18]. Написанная программа на данном языке для контроллера представляет собой некий список цепей, которые одна за другой выполняется сверху – вниз. К тому же, здесь имеется возможность присвоения отдельным цепям меток, что позволит изменять последовательность исполнения цепей и создавать циклы [19-21].

Реализованная программа на языке *FBD* для задачи автоматизации простейшей вентиляционной системы представлена на рис. 5.

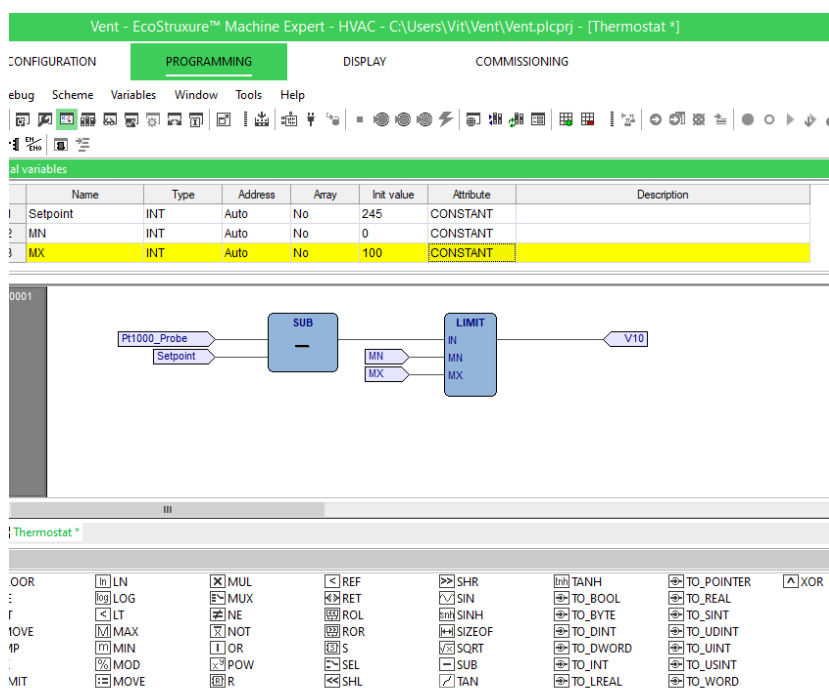


Рис. 5. Программа на языке *FBD*

Выводы

1. Предложенный алгоритм функционирования автоматизированной приточной вентиляционной системы является универсальным, может быть использован в учебном процессе при изучении усовершенствованного оборудования и наглядного представления элементов систем вентиляции, способов регулирования и контроля параметров в данных системах.

2. Основной упор в работах по ознакомлению будет сделан на приобретение навыков составления прикладных программ для промышленных контроллеров *Schneider Electric* и организацию автоматического управления вентиляционной системой с помощью программного обеспечения *EcoStruxure Machine Expert - HVAC*.

Литература

1. Попов Г.А., Нгуен С.М. Автоматизированная система обработки данных в системе управления отоплением, вентиляцией и кондиционированием зданий. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015617996. Дата регистрации: 01.09.2015.
2. Мальцев И.В. Разработка системы управления процессами воздухораспределения в системе тоннельной вентиляции метрополитена // Сборник трудов «Научный потенциал студентов и молодых ученых», 2016. С. 113-116.
3. Волков А.А., Седов А.В., Чельшков П.Д. Лабораторный стенд моделирования систем автоматического управления системами вентиляции зданий и комплексов. Патент на промышленный образец № 87283, 2013. Патентообладатель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный строительный университет».
4. Хоук П.Б., Коберштайн М, Джексон Кеннет Дж и др. Система пожаротушения для системы обогрева, вентиляции и кондиционирования транспортного средства. Патент на изобретение № 2676717, 2019. Патентообладатель: Форд Глобал Технолджис, ЛПК.
5. Вентиляция и центральное кондиционирование. [Электронный ресурс]. Доступно по: <https://bolid.ru/projects/automation-and-dispatching/ventilation/> Ссылка активна на: 19.01.2020.
6. Sewell F.D., Jones B. Heating, ventilation and conditioning unit with automatically controlled water spray air purification system / Environment international. 2016 V. 22. № 2. P. 9.
7. Melkumov V.N., Chuikin S.V. A sheme and method of calculation for ventilation and air conditioning systems of ice arenas // Journal of technology. 2017. V. 32. № 2. pp 139-146.
8. Шведко В.И., Гурьянов Д.В. Моделирование системы вентиляции в системе Desigo insight // Сборник докладов 3 Всероссийской научной конференции «Энергетика. Проблемы и перспективы развития». 2017. С. 304-307.
9. Иванова В.Р., Гараев И.З. Исследование работоспособности асинхронных электродвигателей совместно с преобразователем частоты // Материалы 1 Всероссийской научно-практической конференции «Проблемы и перспективы развития электроэнергетики и электротехники», 2019. С. 283-286.
10. Ivanova V.R., Fetisov L.V., Bulatov O.A. The analysis of Measurements of Indicators of Quality of the Electric Power and Calculation of Economic Efficiency After Installation of the Booster Transformer 2018. В сборнике: 2018 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies, FarEastCon 2019. С. 8602756.
11. Иванова В.Р., Фетисов Л.В. Разработка учебного стенда для эффективной и безопасной эксплуатации резервного электроснабжения на промышленных предприятиях // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2018. № 9-10. С.120-129.
12. Производительный ПЛК M171, дисп, 27I/O, Modbus, 2SSR [Электронный ресурс]. Доступно по: URL: <https://www.se.com/ru/ru/> Ссылка активна на: 15.12.2019.
13. Новиков Е.А., Крайнова Е.А., Цыфаркин В.И. Применение учебного стенда для изучения частотных преобразователей в учебном процессе // Сборник трудов конференции «Актуальные вопросы преподавания технических дисциплин». 2016. С. 232-237.
14. Panasetsky D. Simplified variable frequency induction-motor drive model for power system stability studies and control / D. Panasetsky, A. Osaka, D. Sidorov, Li Young // IFAC-Papersonline 2016. T. 49. № 47. pp. 451-456.
15. Роженцова Н.В., Иванова В.Р., Купоросов А.В. Разработка учебно-лабораторного стенда «Автоматизированная система вентиляции» // Материалы 4 Национальной научно-практической конференции «Приборостроение и автоматизированный электропривод в топливно-энергетическом комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве» Т.1. 2018. С. 209-210.
16. Иванова В.Р., Киселев И.Н. Частотно-регулируемый привод для энергосбережения и оптимизации технологических процессов в электротехнических комплексах // Изв. вузов. Проблемы энергетики. 2019. Т. 21 № 5. С. 59-70. <https://doi.org/10.30724/1998-9903-2019-21-5-59-70>

17. Иванова В.Р., Иванов И.Ю. Разработка критериев оценки принимаемых решений в области проектирования, создания и эксплуатации активно-адаптивных электроэнергетических систем // Материалы международной научной конференции «Высокие технологии и инновации в науке». СПб: 2018. С. 112-116.
18. Макаров А.Н., Хорошевский Н.Д., Полежаев Н.В., и др. Автоматизированный электропривод с частотным управлением по датчику гидростатического давления // Вестник машиностроения, № 3, 2017. С. 53-10.
19. NG B.F., Xiong J.W., Wan M.P. Application of acoustic agglomeration to enhance air filtration efficiency in air-conditioning and mechanical ventilation (ACMV) systems / PLOS ONE, 2017. V.12. № 6. pp. 0178851.
20. Gao R., Wen S., Li A., Zhang H., Du W., Deng B. Anovel low-resistance damper for use within a ventilation and air conditionong system based on the control of energy dissipation / Building and environment, 2019. V. 157. Pp. 205-214.
21. Zhuang C., Wang S., Shan K. Adaptive full-range decoupled ventilation strategy and air-conditioning systems for cleanrooms and buildings requiring strict humidity control and their perfomance evaluation / Energy, 2019. № 1. Pp 883-896.
22. Иванова В.Р., Новокрещенов В.В. Лабораторный практикум «Автоматизированные системы управления технологическими процессами». КГЭУ. Казань, 2019. 28 с.

Авторы публикации

Иванова Вилия Равильевна — канд. техн. наук, доцент кафедры «Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений», Казанский государственный энергетический университет.

Новокрещенов Виталий Викторович — аспирант, Казанский гсударственный энергетический университет.

Роженцова Наталья Владимировна — канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой «Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений», Казанский государственный энергетический университет.

References

1. Popov GA, Nguyen SM. *Automated data processing system in the control system for heating, ventilation and air conditioning of buildings*. Certificate of state registration of computer programs № 2015617996. Registration date: 01.09.2015.
2. Maltsev IV. Development of a control system for air distribution processes in the system of tunnel ventilation of the subway. *Proceedings "The scientific potential of students and young scientists"*, 2016. P. 113-116.
3. Volkov AA, Sedov AV, Chelyshkov PD. *Laboratory stand for modeling systems of automatic control of ventilation systems of buildings and complexes*. Industrial design patent № 87283, 2013. Patent holder: Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education "Moscow State University of Civil Engineering".
4. Hawk PB, Koberstein M, Jackson J. Kenneth, Fire extinguishing system for heating, ventilation and air conditioning systems of a vehicle. Patent for invention № 2676717, 2019. Patent holder: Ford Global Technologies, LPK.
5. *Ventilation and central air conditioning*. [Electronic resource]. Available at: <https://bolid.ru/projects/automation-and-dispatching/ventilation/> Accessed to: 19. Jan. 2020.
6. Sewell FD, Jones B. Heating, ventilation and conditioning unit with automatically controlled water spray air purification system / *Environment international*. 2016;22(2):9.
7. Melkumov VN, Chuikin SV. A sheme and method of calculation for ventilation and air conditioning systems of ice arenas. *Journal of technology*. 2017;32(2):139-146.
8. Shvedko VI, Guryanov DV. Modeling the ventilation system in the Desigo insight system Collection of reports of the 3 All-Russian scientific conference Energy. *Problems and development prospects*. 2017.pp. 304-307.
9. Ivanova VR, Garaev IZ. Investigation of the performance of asynchronous electric motors together with a frequency converter. *Proceedings of the Ist All-Russian Scientific and Practical Conference "Problems and Prospects for the Development of the Electric Power Industry and Electrical Engineering"*, 2019. pp. 283 - 286.
10. Ivanova VR, Fetisov LV, Bulatov OA The analysis of Measurements of Indicators of Quality

of the Electric Power and Calculation of Economic Efficiency After Installation of the Booster Transformer. 2018. В сборнике: 2018 *International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies, FarEastCon* 2018. С. 8602756.

11. Ivanova VR, Fetisov LV. Development of a training facility for the efficient and safe operation of backup power supply at industrial enterprises. *Izv. universities. Energy problems*. 2018;9-10:120-129.

12. Productive PLC M171, Dis, 271/O, Modbus, 2SSR [Electronic resource]. Available at: URL: <https://www.se.com/ru/ru/>. Accessed to: 25. Dec. 2019.

13. Novikov EA, Kraynova EA, Tsyfarkin VI. The use of a training stand for the study of frequency converters in the educational process. *Proceedings of the conference "Actual issues of teaching technical disciplines"*, 2016. pp. 232-237.

14. Panasetsky D, Osaka A., Sidorov D, et al. Simplified variable frequency induction-motor drive model for power system stability studies and control. *IFAC-Papersonline*. 2016;49(47):451-456.

15. Rozhentsova NV, Ivanova VR., Kuporoso AV. Development of a training and laboratory stand "Automated ventilation system". *Proceedings of the 4 National Scientific and Practical Conference "Instrument-Making and Automated Electric Drive in the Fuel and Energy Complex and Housing and Communal Services"*. 2018;1:209-210.

16. Ivanova VR, Kiselev IN. Variable frequency drive for energy saving and optimization of technological processes in electrical complexes. *Izv. universities. Energy issues*. 2019;21(5):56-70. <https://doi.org/10.30724/1998-9903-2019-21-5-59-70>.

17. Ivanova VR, Ivanov IYu. Development of evaluation criteria for decisions made in the field of design, creation and operation of actively adaptive electric power systems. *Materials of the international scientific conference "High Technologies and Innovations in Science"*. St. Petersburg: 2018. pp. 112-116.

18. Makarov AN, Khoroshevsky ND, Polezhaev NV, et al. Automated electric drive with frequency control by hydrostatic pressure sensor. *Bulletin of machine building*. 2017;3:53-10.

19. NG B.F, Xiong JW, Wan MP. Application of acoustic agglomeration to enhance air filtration efficiency in air-conditioning and mechanical ventilation (ACMV) systems. *PLOS ONE*. 2017;12(6):0178851.

20. Gao R, Wen S, Li A, et al. Anovel low-resistance damper for use within a ventilation and air conditionong system based on the control of energy dissipation. *Building and environment*, 2019;157:205-214.

21. Zhuang C, Wang S, Shan K. Adaptive full-range decoupled ventilation strategy and air-conditioning systems for cleanrooms and buildings requiring strict humidity control and their performance evaluation. *Energy*. 2019;1:883-896.

22. Ivanova VR, Novokreschenov VV. *Laboratory workshop "Automated process control systems."* KSUE. Kazan, 2019. P. 28.

Authors of the publication

Viliya R. Ivanova – Kazan state power engineering university, Kazan, Russia. Email: vr-10@mail.ru.

Vitaly V. Novokreshchenov – Kazan state power engineering university, Kazan, Russia. Email: vitnov@inbox.ru.

Natalia V. Rozhencova – Kazan state power engineering university, Kazan, Russia. Email: natalia15969@yandex.ru.

Поступила в редакцию

27.12.2019г.