

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

DOI: 10.26730/1999-4125-2018-1-139-148

УДК 681.51:[621.63:622.445]

УНИФИЦИРОВАННАЯ ЦИФРОВАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ВЕНТИЛЯТОРНОЙ УСТАНОВКОЙ

UNIFIED DIGITAL CONTROL SYSTEM OF THE FAN INSTALLATION

Островляничик Виктор Юрьевич^{1,2},

д.т.н., профессор, e-mail: niaep@kuz.ru

Ostrovlyanchik Victor Yu.^{1,2}, D. Sc., Professor

Кубарев Василий Анатольевич^{1,2},

к.т.н., доцент, e-mail: kubarev.sibsiu@list.ru

Kubarev Vasiliy A.^{1,2}, C. Sc., Associate Professor

Модзелевский Дмитрий Евгеньевич^{1,2},

к.т.н., доцент, e-mail: dima010@mail.ru

Modzelevskiy Dmitriy E.^{1,2}, C. Sc., Associate Professor

Борщинский Максим Юрьевич^{1,2},

старший преподаватель, e-mail: bormax2005@mail.ru

Borshinskiy Maxim Yu.^{1,2}, Senior Lecturer

Веригин Николай Вадимович^{1,2},

заведующий лабораториями, e-mail: NikolayVerigin@ya.ru

Verigin Nikolay V.^{1,2}, Head of the Laboratories

Маршев Дмитрий Александрович^{1,2},

аспирант, e-mail: marsh10@mail.ru

Marshev Dmitriy A.^{1,2}, Postgraduate

Ермаков Иван Александрович²,

ведущий инженер, e-mail: ivan.nk@mail.ru

Ermakov Ivan A.², Lead Engineer

¹Сибирский государственный индустриальный университет, 654007, Россия, г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42

¹Siberian State Industrial University, 42 Kirova street, Novokuznetsk, 654007, Russia

²Общество с ограниченной ответственностью «НИИ АЭМ СибГИУ», 654007, Россия, г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42

²Limited Liability Company «NII AEM SibGIU», 42 Kirova street, Novokuznetsk, 654007, Russia

Аннотация: В настоящей работе представлена унифицированная цифровая система управления вентиляторной установкой, построенная по принципу распределённого управления управляющими объектами.

Актуальность работы. До настоящего времени на главных вентиляторных установках применяются устаревшие системы автоматики и защит. Применение устаревшей аппаратуры автоматизации и систем управления электроприводом не позволяет ввести вентиляторную установку в систему диспетчеризации. Кроме того, углубление действующих шахт требует повышения качества систем управления и мониторинга вентиляторных установок, так как их текущее состояние не позволяет обеспечить требуемый уровень безопасности.

Цель работы: разработка технической структуры аппаратной части и архитектуры программного обеспечения унифицированной системы управления вентиляторной установкой.

Методы исследования: теория автоматов, методы объектно-ориентированного программирования с явным выделением состояний.

Результаты. Разработаны функциональная схема и структура системы управления. Предложена методика и этапы разработки программного обеспечения системы управления с использованием прин-

цина модульности и программирования с явным выделением состояний с применением алгоритмов взаимодействия. Предложена модульная структура программного обеспечения системы, приведены графы отдельных модулей. Разработаны алгоритмы функционирования системы технологической автоматики и защит вентиляторной установки.

Abstract: The paper is devoted to the implementation of a unified digital control system of the fan installation, based on the principle of distributed control of control objects.

The urgency of the discussed issue. At present, outdated automation and protection systems are used on the main fan units. The use of outdated automation equipment and electric drive control systems does not allow the introduction of a fan installation into the dispatching system. In addition, the deepening of existing mines requires improving the quality of control and monitoring systems of fan units, since their current state does not allow providing the required level of safety.

The main aim of the study: the development of the technical structure of the hardware and software architecture of the unified fan control system.

The methods used in the study: automata theory, object-oriented programming methods with explicit state separation.

The results. A functional scheme and structure of the control system have been developed. The method and stages of software development for the control system using the principle of modularity and programming with explicit state separation using the interaction algorithms are proposed. A modular structure of the system software is proposed, graphs of individual modules are given. The algorithms of functioning of the system of technological automatics and protection of the fan plant are developed.

Ключевые слова: вентилятор главного проветривания, система технологической автоматики и защит, автоматное программирование, электропривод, конечный автомат.

Key words: main fan installation, technological automation and protection system, automata-based programming, electric drive, finite state machine.

Введение

До настоящего времени на достаточно большом количестве главных вентиляторных установках (ГВУ) шахт и рудников применяются устаревшие системы автоматики и защит (УКВГ, ЭРВГП-2, АДШВ, УКАВ-2, УАВШ, УКАВ-М), а в качестве систем возбуждения синхронных двигателей применяются аналоговые возбудители различных типов, наиболее часто — ТЕ8. Применение устаревшей аппаратуры автоматизации и систем управления электроприводом не позволяет ввести вентиляторную установку в систему диспетчеризации предприятия, и обеспечить требования, регламентируемые действующими Правилами безопасности в угольных шахтах (утв. приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 19 ноября 2013 г. N 550) и Правилами безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых (утв. приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 11 декабря 2013 г. N 599).

Мировое потребление угля непрерывно растет, опережая потребление нефти и газа [1, 2]. Согласно «Энергетической стратегии России на период до 2030 года» (утв. Распоряжением Правительства от 13 ноября 2009 года N 1715-р) к 2030 году доля угля в потреблении тепловыми электростанциями должна возрасти с 24 до 36 процентов, а доля потребляемого газа снизиться с 70 до 60 процентов, при этом вновь вводимые в эксплуатацию предприятия Кузбасса в основном будут ориентированы на подземную добычу [3].

Углубление действующих шахт и рудников требует повышения качества систем управления и мониторинга вентиляторных установок, так как их текущее состояние не позволяет обеспечить требуемый уровень безопасности при работе на более глубоких горизонтах. Кроме того, реализация основных требований к диспетчеризации ГВУ средствами автоматизации [4] позволит повысить качество эксплуатации вентиляторной установки, снизить расходы на ремонтный персонал и текущее обслуживание.

Системы управления различной сложности, как отдельно вентиляторными установками, так и в целом системами вентиляции шахт в настоящее время разрабатываются и предлагаются к внедрению как российскими [5, 6, 7], так и иностранными [8] фирмами, в том числе ведётся разработка систем управления шахтной вентиляцией с применением беспроводных сетей [9].

Таким образом, решение вопросов разработки современных систем диспетчеризации, управления, автоматики и защит вентиляторных установок, которые были бы пригодны как для модернизации действующих вентиляторных установок, так и для применения в проектах вновь вводимых ВУ является актуальным.

Аппаратная реализация

ООО «НИИ АЭМ СибГИУ» совместно с кафедрой электротехники, электропривода и промышленной электроники СибГИУ разработана система управления вентиляторной установкой, построенная по принципу распределенного управления управляющими объектами и объектами

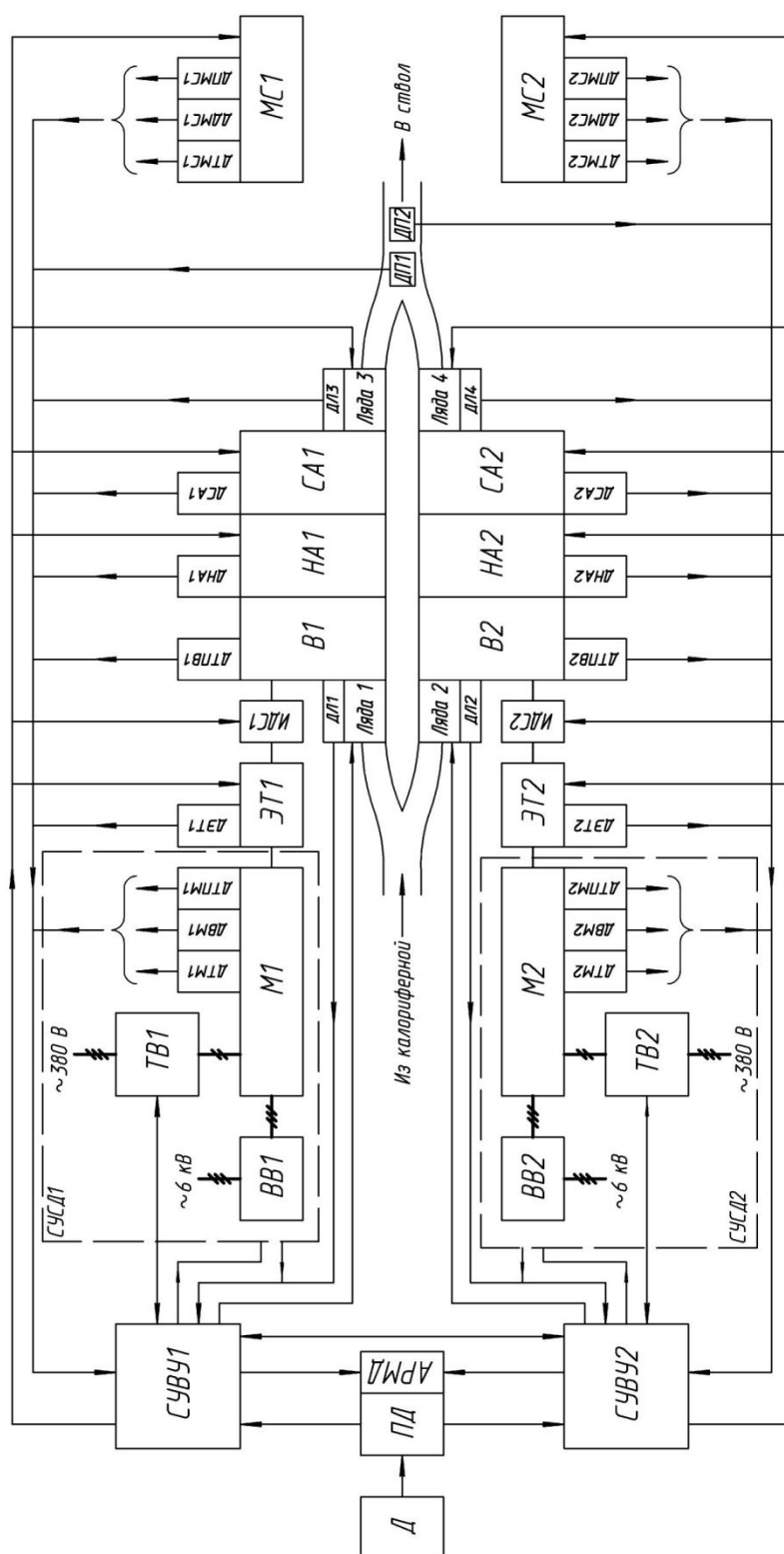


Рис 1. Функциональная схема системы управления вентиляторной установкой
 Fig. 1. Functional diagram of the fan installation control system

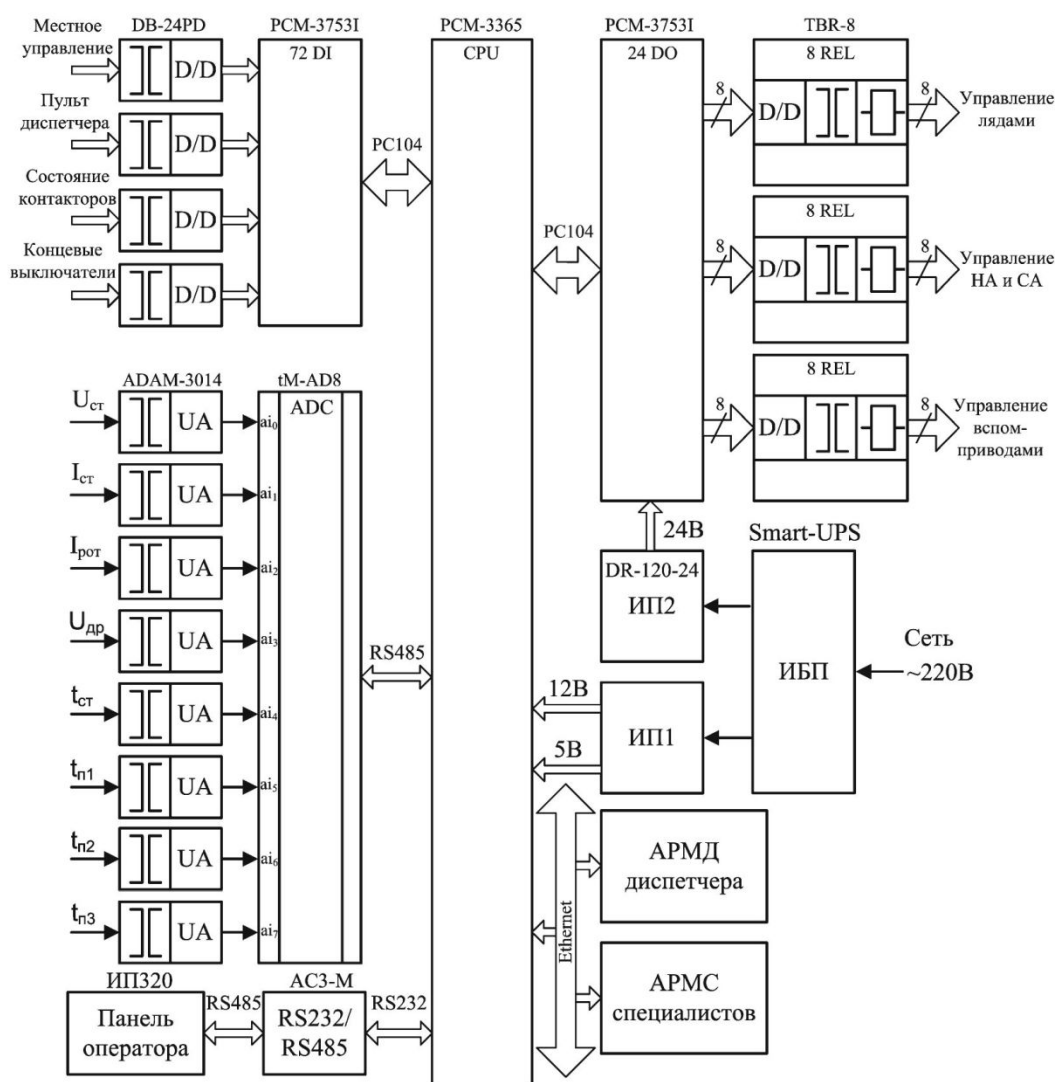


Рис. 2. Техническая структура цифровой управляющей системы вентиляторной установки
Fig. 2. Technical structure of the unified digital control system of the fan installation

управления. Система состоит из отдельных автономных модулей, внедрение каждого из которых можно производить поэтапно, не выводя вентиляторную установку из работы.

Функциональная схема системы управления вентиляторной установкой приведена на рис. 1.

Система управления вентиляторной установкой рассматривается как совокупность управляющей системы, управляющих объектов и объектов управления [10]. Функционирование всех управляющих устройств обеспечивается управляющей системой.

К объектам управления и управляющим объектам относятся:

- система управления синхронными двигателями (СУСД1, СУСД2), включающая: цифровые тиристорные возбудители синхронных двигателей (ТВ1, ТВ2), приводные синхронные двигатели вентиляторов (М1 и М2), высоковольтные вводы приводных двигателей (ВВ1, ВВ2);

- вентиляторные агрегаты, включающие: тормоза вентиляторных агрегатов (ЭТ1, ЭТ2), направляющие (НА1, НА2) и спрямляющие (СА1, СА2) аппараты первого и второго вентиляторов, ляды №1...№4;

- маслостанции (МС1, МС2), включающие: электронагреватели системы подогрева масла (ЭН1, ЭН2), датчики температуры (ДТМС1, ДТМС2), давления (ДДМС1, ДДМС2) и потока масла (ДПМС1, ДПМС2).

В состав управляющей системы входят:

- диспетчер (Д);
- информационно-управляющая система, включающая: пульт диспетчера (ПД) с установленным на нём автоматизированным рабочим местом диспетчера (АРМД) и унифицированные цифровые системы управления первого и второго (основного и резервного) вентиляторных агрегатов (СУВУ1, СУВУ2);

- датчики: температуры подшипников

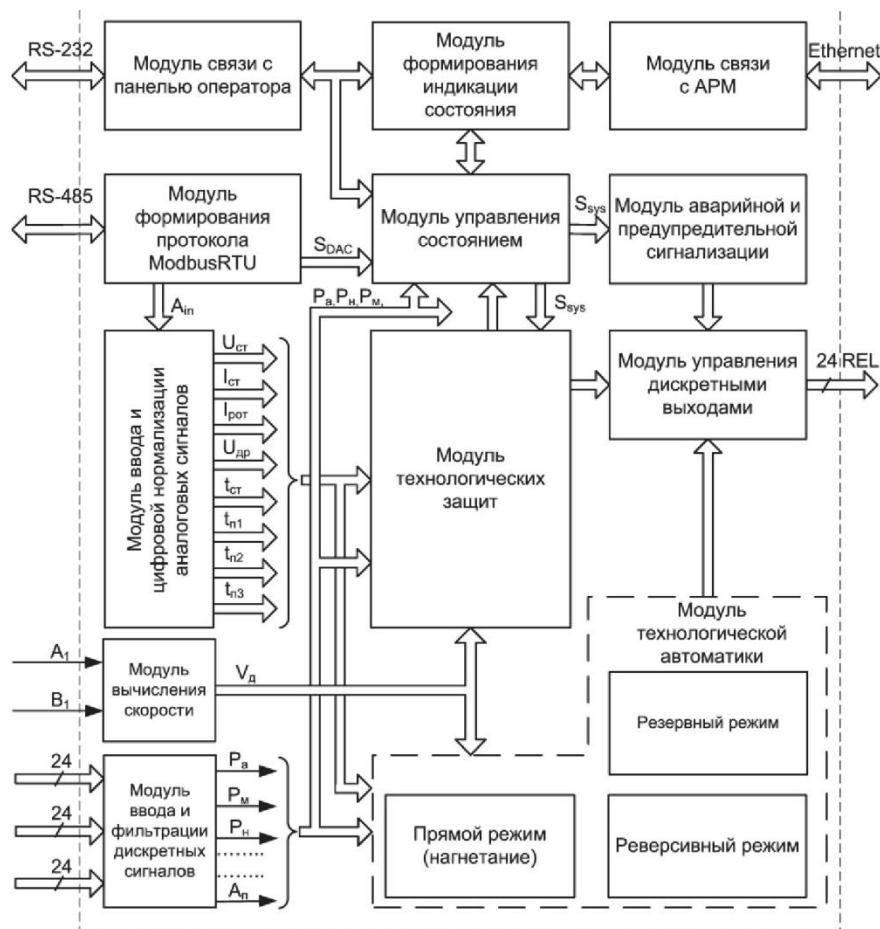


Рис. 3. Основные программные модули унифицированной цифровой системы управления вентиляторной установкой

Fig. 3. Main program modules of the unified digital control system of the fan installation

двигателей (ДТПМ1, ДТПМ2), положения тормоза (ДЗТ1, ДЗТ2), положения ляд (ДЛ1, ДЛ2, ДЛ3, ДЛ4), температуры подшипников вентиляторных агрегатов (ДТПВ1, ДТПВ1), импульсные датчики скорости вентиляторного агрегата (ИДС1, ИДС2), производительности вентиляторов (ДП1, ДП2), положения направляющих аппаратов (ДНА1, ДНА2) и спрямляющих аппаратов (ДСА1, ДСА2).

Техническая структура цифровой управляющей системы вентиляторной установки приведена на рис. 2.

В состав управляющей системы входят:

- промышленный контроллер РСМ-3365, который выполняет основные функции логического управления;
- модуль ввода дискретных сигналов РСМ-3753I. Дискретные сигналы модуля обеспечивают гальваническую развязку до 1000 В.
- модуль удаленного ввода аналоговых сигналов tM-AD8;
- восемь модулей гальванической развязки и нормализации аналоговых сигналов ADAM-3014;
- датчик производительности — термоанемометр ТТМ-2-04;

- модули гальванической развязки дискретных входных сигналов DB-24PD;
- модули гальванической развязки дискретных выходных сигналов TBR-8;
- пульт местного управления, выполненный на базе панели Овен ИП320;
- преобразователь интерфейсов RS232/RS485 AC3-M;
- источники питания. Источник питания контроллера и плат ввода/вывода и источник 24В для питания «сухих контактов» входных дискретных сигналов и выходных реле.

Архитектура программного обеспечения

Создание программного обеспечения основано на принципе модульности, позволяющем при решении однородных задач повторно использовать разработанные унифицированные модули. Основные модули системы и их взаимосвязи показаны на рис. 3.

В системе выделены следующие основные модули:

1. Модуль связи с панелью оператора — формирует протокол связи с панелью оператора ОВЕН ИП320.

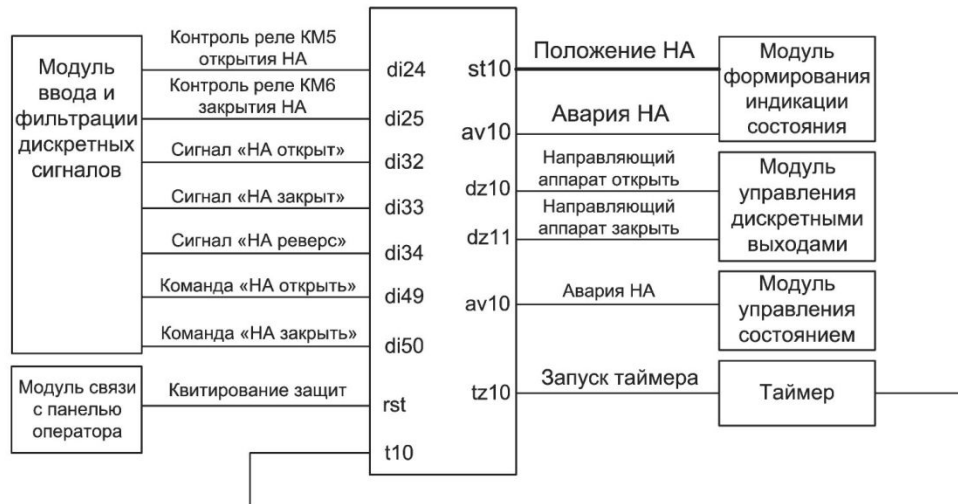


Рис. 4. Схема связей модуля управления направляющими аппаратами
 Fig. 4. Connection diagram of the guide vanes control module

2. Модуль формирования протокола ModbusRTU — формирует протокол ModbusRTU для связи по сети RS-485 с модулями удаленного сбора аналоговых сигналов и цифровыми тиристорными возбудителями.

3. Модуль ввода и нормализации аналоговых сигналов — выделяет считанный аналоговый сигнал, производит его фильтрацию и расчет действующих значений токов и напряжений.

4. Модуль вычисления скорости вращения вентилятора — преобразовывает входные значения с импульсных датчиков скорости в цифровой эквивалент скорости вращения вентилятора.

5. Модуль ввода дискретных сигналов — производит фильтрацию дискретных сигналов, устраняядребзг и ложные срабатывания.

6. Модуль формирования индикации состояния — на основании данных с модулей формирует управляющее слово, передаваемое через модуль связи с панелью оператора на панель ИПЗ 20.

7. Модуль управления состоянием — реализует переключение между основными состояниями системы управления: «Инициализация», «Работа», «Предупреждение», «Ожидание АВР», «Авария».

8. Модуль технологических защит — реализует технологические и электрические защиты оборудования вентиляторной установки.

9. Модуль технологической автоматики — в данном модуле реализуются функции работы вентиляторной установки в основных режимах.

10. Модуль связи с автоматизированным рабочим местом — выполняет функции связи с АРМ диспетчера и АРМ специалистов.

11. Модуль аварийной и предупредительной сигнализации — сравнивает параметры входных величин с определёнными пороговыми значениями и в зависимости от их значения разрешает или запрещает работу вентиляторной установки.

12. Модуль управления дискретными выходами — на основе сигналов состояния внутренних

модулей управляет внешними реле с учетом ограничений, наложенных режимами работы и аварийными состояниями.

Алгоритм программного обеспечения для системы управления разрабатывался с применением программирования с явным выделением состояний — автоматного программирования [11, 12, 13] и алгоритмов взаимодействия [14], с учетом методики, предложенной в работе [15].

Разработку программного обеспечения предлагаемой системы на основе программирования с явным выделением состояний рассмотрим на примере подмодулей, входящих в модуль технологической автоматики: модуля управления направляющими аппаратами (НА) и модуля управления запуском.

Схема связей модуля управления направляющими аппаратами приведена на рис. 4.

Модуль управления направляющими аппаратами содержит шесть состояний:

1. Инициализация (a_0) — начальное состояние, в котором происходит инициализация модуля.

2. Закрыто (a_1) — производится контроль нахождения лопастей в положении «Закрыто» и ожидание сигнала на перевод лопастей.

3. Перемещение (a_2) — производится контроль времени перевода лопастей направляющего аппарата в заданное положение.

4. Открыто (a_3) — производится контроль нахождения лопастей в положении «Закрыто» и ожидание сигнала на перевод лопастей.

5. Реверс (a_4) — производится контроль нахождения лопастей в положении «Реверс» и ожидание сигнала на перевод лопастей.

6. Авария (a_5) — переход в данное состояние происходит, если время перевода лопастей из состояния в состояние превышает заданное. Устанавливается код аварии, выход из состояния возможен только по сигналу «Квитирование защит».

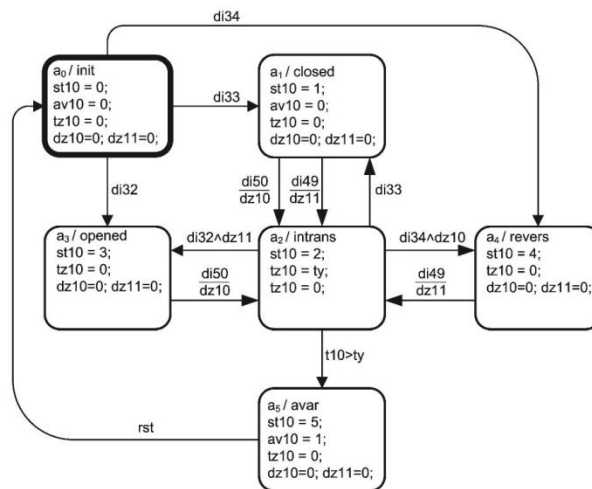


Рис. 5 Диаграмма состояний автомата модуля управления направляющими аппаратами
Fig. 5. Statechart of the guide vanes control module

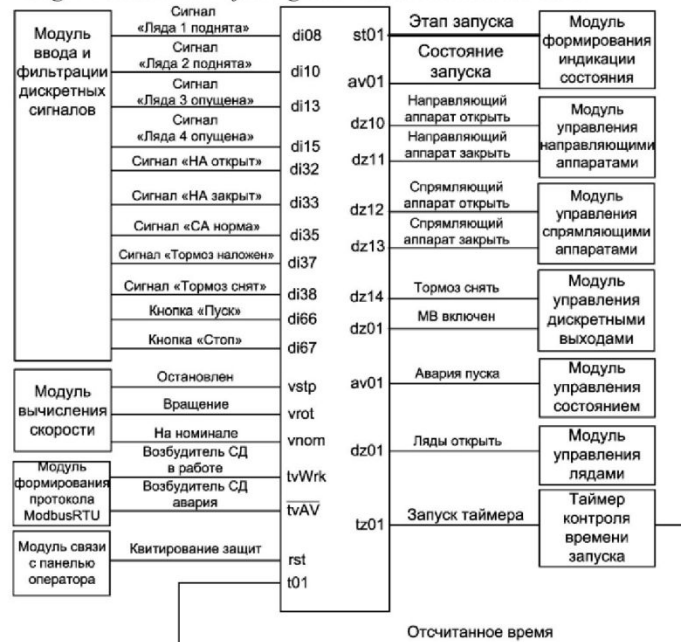


Рис. 6. Схема связей модуля управления запуском
Fig. 6. Connection diagram of the startup control module

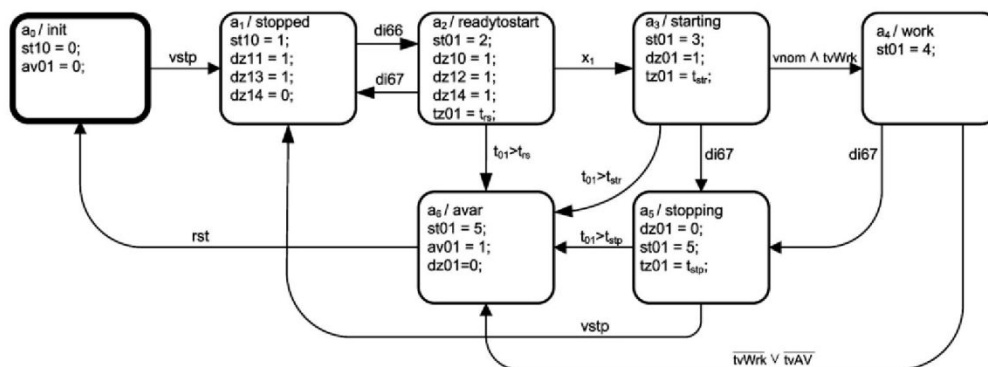


Рис. 7 Диаграмма состояний модуля управления запуском
Fig. 7. Statechart of the startup control module

Диаграмма состояний автомата модуля управления направляющими аппаратами приведена на рис. 5.

Для управления запуском вентиляторного агрегата разработан модуль управления запуском. Схема связей модуля управления запуском приведена на рис. 6, а диаграмма состояний приведена на рис. 7.

Модуль управления запуском содержит семь состояний:

1. Инициализация (a_0) — начальное состояние, в котором происходит инициализация модуля.
2. Остановлен (a_1) — вентилятор остановлен, ожидается сигнал «Пуск».
3. Готов к пуску (a_2) — производятся операции подготовки к пуску вентилятора. Контролируется время подготовки.
4. Запуск (a_3) — производится запуск вентилятора с контролем времени запуска.
5. Работа (a_4) — вентилятор в рабочем режиме, ожидание сигнала «Стоп».
6. Остановка (a_5) — вентилятор останавливается. По сигналу v_{str} происходит переход в состояние «Остановлен».
7. Авария (a_6) — Устанавливается код аварии, выход из состояния возможен только по сигналу «Квитирование защит».

Переменная x_1 , характеризующая готовность системы к запуску, определяется выражением:

$$x_1 = \begin{cases} 1, & \text{при } di08 \wedge di10 \wedge di13 \wedge di15 \wedge di32 \wedge di35 \wedge di37 \wedge di38 \wedge di67 \wedge tvAV \\ 0, & \text{иначе} \end{cases}$$

Заключение

В статье предложена унифицированная цифровая система управления вентиляторной установкой построенная по принципу распределённого управления управляющими объектами и рассмотрены основные этапы, выделяемые в процессе разработки системы управления.

Методика разработки программного обеспечения управляющей автоматизированной системы может быть представлена следующими этапами: 1) разработка и анализ функциональной схемы системы управления вентиляторной установкой; 2) разработка технической структуры системы и выбор оборудования; 3) на основе совместного анализа функциональной и технической структур разрабатывается модульная архитектура программного обеспечения системы и выделяются основные модули; 4) определяются схемы связей программных модулей; 5) на основе схем связей строятся и минимизируются диаграммы состояний модулей программы; 6) проводится кодирование программы на выбранном языке программирования; 7) проводится тестирование и отладка программы. Предлагаемый подход к разработке программы системы управления с использованием принципа модульности, программирования с явным выделением состояний и применения алгоритмов взаимодействия позволяет уменьшить трудозатраты на реализацию системы управления вентиляторной установкой и значительно повысить степень надежности и верифицируемости кода, а значит безопасности и надежности работы установки в целом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Франкевич, Ж.А. Конкретизация ключевых направлений. Угольная промышленность России: проблемы и перспективы развития [Электронный ресурс] / Ж.А. Франкевич, Н.В. Горонкова // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал) 2015 г. №7. с. 305 – 310.
2. Писаренко, М.В. Производство и потребление угля в мире [Электронный ресурс] // В сборнике: Энергетическая безопасность России. Новые подходы к развитию угольной промышленности. Сборник трудов XV международной научно-практической конференции, 2013 г. — с. 236-241.
3. Клишин, В.И. Расширение минерально-сырьевой базы кузнецкого угольного бассейна [Электронный ресурс] / В.И. Клишин, С.В. Шаклеин, М.В. Писаренко // В сборнике: Перспективы инновационного развития угольных регионов России. Сборник трудов IV Международная научно-практическая конференция, 2014 г. — с. 37-42
4. Бабак, Г.А. Шахтные вентиляторные установки главного проветривания. Справочник / Г. А. Бабак и [д.р.]. — М: Недра, 1982. — 296 с.
5. Программно-технический комплекс управления главной вентиляторной установкой шахты [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://npp-tp.ru/products/avtomatika/dispatcherizacziya-i-svyaz/programmno-texnicheskij-kompleks-upravleniya-glavnoj-ventilyatornoj-ustanovkoj-shaxtyi.html>. — Загл. с экрана. Дата обращения: 16.10.2017 г.
6. Громов, В.С. Система управления вентиляторной установкой главного проветривания для горнодобывающего предприятия [Электронный ресурс] / В.С. Громов, В.Р. Лапшин // Автоматизация в промышленности. — 2010, №9. с. 27.
7. Разработка автоматизированных систем контроля и управления шахтных вентиляторных установок [Электронный ресурс] / А.С.Иванов и [д.р.] // Вестник СибГИУ, 2015. — №2. — с. 64-70.
8. ABB Smart ventilation. A real-time mine ventilation optimization solution. Режим доступа: <http://new.abb.com/docs/librariesprovider78/documentos-peru/presentaciones-primeras-jornadas-tecnicas-abb->

peru/pa/abb-smart-ventilation-patrik-westerlund.pdf?sfvrsn=2. — Загл. с экрана. Дата обращения: 16.10.2017 г.

9. Mining ventilation automation: Wireless sensing, communication architecture and advanced services / C. Fischione, L. Pomante, C. Rinaldi, F. Santucci, S. Tennina // Automation Science and Engineering, 2008. CASE 2008. IEEE International Conference. — с. 851-857 DOI:10.1109/COASE.2008.4626510.

10. Теория управления. Терминология. Вып. 107. / Отв. ред. Б. Г. Волик М.: Наука, 1988. — 56 с.

11. Поликарпова, Н.И. Автоматное программирование / Н.И. Поликарпова, А.А. Шалыто. — СПб.: Издательство «Питер», 2010. — 176 с.

12. Samek, Miro. Practical Statecharts in C/C++. Quantum Programming for Embedded Systems. — CMP Books, 2002. — 400 с.

13. Harel D. Statecharts: a visual formalism for complex systems. [Электронный ресурс] // Science of Computer Programming. — 1987, № 8, no. 3, pp. 231-274.

14. Ермаков, И.А. Опыт применения алгоритмов взаимодействия при программировании систем технологической автоматики / И.А. Ермаков // В сборнике: Автоматизированный электропривод и промышленная электроника: труды пятой Всероссийской научно-практической конференции, 20-22 ноября 2012 г. — Новокузнецк: СибГИУ, 2012. - с. 133-140.

15. Островляничик, В.Ю. Методика разработки программного обеспечения систем логического управления подъёмными установками [Электронный ресурс] / В.Ю. Островляничик, В.А. Кубарев // Вестник КузГТУ, 2011. — №6. — с. 50-54.

REFERENCES

1. Frankevich, Zh.A. Konkretizatsiya klyuchevykh napravleniy. Ugol'naya promyshlennost' Rossii: problemy i perspektivy razvitiya [Specification of key areas of the Russian coal industry: problems and development prospects]. Zh.A. Frankevich, N.V. Goronkova. Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten' (nauchno-tekhnicheskiy zhurnal). 2015, №7, pp. 305 – 310.

2. Pisarenko, M.V. Proizvodstvo i potrebleniye uгля v mire [Production and consumption of coal in the world]. V sbornike: Energeticheskaya bezopasnost Rossii. Novye podkhody k razvitiyu ugolnoy promyshlennosti. Sbornik trudov XV mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii [In the collection: Energy security of Russia. New approaches to the development of the coal industry. Collection of Proceedings of the XV International Scientific and Practical Conference]. 2013. pp. 236-241.

3. Klishin V.I., Shaklein S.V., Pisarenko M.V. Rasshirenie mineralno-syrevoy bazy kuznetskogo ugolnogo basseyna [Expansion of The Mineral Resources Base of The Kuznetsk Coal Basin]. Perspektivy innovatsionnogo razvitiya ugolnykh regionov Rossii. Sbornik trudov IV Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya [In the collection: Perspectives of Innovative Development of The Coal Regions of Russia. Collection of Works IV International Scientific and Practical Conference], 2014. p. 37-42.

4. Babak, G.A. Shakhtnye ventilyatornye ustanovki glavnogo provetrivaniya. Spravochnik [Mine fan installations of main ventilation. Handbook]. G. A. Babak and others. M: Nedra, 1982. 296 p.

5. Programmno-tekhnicheskiy kompleks upravleniya glavnoy ventilyatornoy ustanovkoy shakhty [The software and hardware control system of the main fan installation of the mine]. URL: <http://npp-tp.ru/products/avtomatika/dispatcherizatsiya-i-svyaz/programmno-tekhnicheskij-kompleks-upravleniya-glavnoj-ventilyatornoj-ustanovkoj-shakhtyi.html>.

6. Gromov, V.S. Sistema upravleniya ventilyatornoy ustanovkoy glavnogo provetrivaniya dlya gornodobyvayushchego predpriyatiya [Control system for the main fan installation of the mining enterprise]. V.S. Gromov, V.R. Lapshin. Avtomatizatsiya v promyshlennosti. 2010, №9, p. 27.

7. Ivanov, A.S. et al. Razrabotka avtomatizirovannykh sistem kontrolya i upravleniya shakhtnykh ventilyatornykh ustanovok [Development of automated systems for monitoring and controlling mine ventilation plants]. Vestnik SibGIU 2015, №2, pp. 64-70. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25112147>

8. ABB Smart ventilation. A real-time mine ventilation optimization solution. URL: <http://new.abb.com/docs/librariesprovider78/documentos-peru/presentaciones-primeras-jornadas-tecnicas-abb-peru/pa/abb-smart-ventilation-patrik-westerlund.pdf?sfvrsn=2>.

9. Fischione, C. et al. Mining ventilation automation: Wireless sensing, communication architecture and advanced services. Automation Science and Engineering, 2008. CASE 2008. IEEE International Conference, pp. 851-857. DOI:10.1109/COASE.2008.4626510.

10. Teoriya upravleniya. Terminologiya. [Control Theory. Terminology.] Vyp. 107. Editor: B.G. Volik. M.: Nauka, 1988. 56 p.

11. Polikarpova, N.I. Avtomatnoe programmirovaniye [Automata-based Programming]. St. Petersburg: Izdatel'stvo «Piter», 2010. 176 p.

12. Samek, Miro. Practical Statecharts in C/C++. Quantum Programming for Embedded Systems. CMP

Books, 2002. 400 p.

13. Harel D. Statecharts: a visual formalism for complex systems. Science of Computer Programming, 1987, vol. 8, no. 3, pp. 231–274.

14. Ermakov I. A. Opyt primeneniya algoritmov vzaimodeystviya pri programmirovanii sistem tekhnologicheskoy avtomatiki [Experience of application of interaction algorithms for programming of technological automation systems]. V sbornike: Avtomatizirovanny elektropriwod i promyshlennaya elektronika: trudy pyatoy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, 20-22 Noyabrya 2012 g. [In the collection: Automated electric drive and industrial electronics: Proceedings of the Fifth All-Russian Scientific and Practical Conference, November 20-22, 2012]. Novokuznetsk: SibSIU, 2012. pp. 133-140.

15. Ostrovlyanchik, V. Yu. Metodika razrabotki programmogo obespecheniya sistem logicheskogo upravleniya pod"emnymi ustanovkami [Technique of software development for logical control systems of mine hoists] V.Yu. Ostrovlyanchik, V.A. Kubarev. Vestnik KuzSTU. Kemerovo: 2011, № 6. pp. 50-54.

Поступило в редакцию 12.01.2018

Received 12.01.2018