

**АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ
AUTOMATION AND CONTROL**

УДК 303.732.4

DOI: 10.18413/2518-1092-2023-8-4-0-4

**Яценко В.М.¹
Ломакин В.В.²****РАСПРЕДЕЛЕННЫЙ АЛГОРИТМ УПРАВЛЕНИЯ
УСТАНОВКОЙ МИКРОДУГОВОГО ОКСИДИРОВАНИЯ**¹) ООО "ЭЛСИС БелГУ", ул. Королева, 2а, корпус 1, оф. 103, г. Белгород, 308034, Россия²) Белгородский государственный национальный исследовательский университет,
ул. Победы, 85, г. Белгород, 308015, Россия*e-mail: Yatsenko_ym@bsu.edu.ru, Lomakin_VV@bsu.edu.ru***Аннотация**

В статье описывается процесс формирования требований к системе управления и контроля установкой для микродугового оксидирования (МДО). Рассматривается необходимость обеспечения многоуровневой защиты оборудования и персонала, обусловленная особенностями процесса синтеза алгоритмов функционирования распределенной системы управления, обеспечивающих необходимые и безопасные режимы работы. Приводятся основные этапы формирования требований для обеспечения взаимодействия отдельных функциональных элементов системы управления. Приводится градация событий, возникающих в силовой части установки МДО и событий, обусловленных действиями персонала по реакции на них системы управления.

Ключевые слова: оборудование для МДО; контроль и управление; система управления; синтез алгоритмов управления

Для цитирования: Яценко В.М., Ломакин В.В. Распределенный алгоритм управления установкой микродугового оксидирования // Научный результат. Информационные технологии. – Т.8, №4, 2023. – С. 40-49. DOI: 10.18413/2518-1092-2023-8-4-0-4

**Yatsenko V.M.
Lomakin V.V.****DISTRIBUTED ALGORITHM FOR CONTROL
OF MICROARC OXIDATION INSTALLATION**¹) LLC "ELSYS BelSU", 2a Koroleva St., 1 building, 103 office, Belgorod, 308034, Russia²) Belgorod State National Research University, 85 Pobedy St., Belgorod, 308015, Russia*e-mail: Yatsenko_ym@bsu.edu.ru, Lomakin_VV@bsu.edu.ru***Abstract**

The article describes the process of forming requirements for a control and monitoring system for a micro-arc oxidation (MAO) installation. The need to ensure multi-level protection of equipment and personnel is considered, due to the peculiarities of the process of synthesis of algorithms for the functioning of a distributed control system that provides the necessary and safe operating modes. The main stages of forming requirements to ensure the interaction of individual functional elements of the control system are presented. A gradation of events occurring in the power section of the MDO installation and events caused by the actions of personnel in response to the control system are given.

Keywords: equipment for MDO; control and management; control system; synthesis of control algorithms

For citation: Yatsenko V.M., Lomakin V.V. Distributed algorithm for control of microarc oxidation installation // Research result. Information technologies. – Т. 8, №4, 2023. – P. 40-49. DOI: 10.18413/2518-1092-2023-8-4-0-4

ВВЕДЕНИЕ

При построении систем управления сложными технологическими установками для МДО возникает необходимость рационального распределения решаемых задач между элементами системы. К решаемым в рамках проектирования оборудования задачам следует отнести задачи управления электрическими режимами технологического источника тока [2, 3, 5, 6, 9, 10], задачи обеспечения безопасности работы элементов оборудования и персонала, задачи измерения технологических параметров. Общими подходами к распределению задач по элементам системы являются принципы разделения по необходимой скорости реакции на возникающие события, дублирования критически важных функций, а также наличия обмена событиями между подсистемами.

ПОДХОДЫ К РЕАЛИЗАЦИИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ УСТАНОВКОЙ МДО

При классическом построении системы управления на базе промышленного контроллера управления, обеспечивающего гарантированную скорость реакции системы, сложным оказывается реализация добавления функционала и развития информационных подсистем [2, 3, 5-7, 10]. Применение персонального компьютера или сервера для управления технологическим оборудованием сопряжено с рисками в виду особенностей функционирования и обновления операционных систем, опасности сбоев и негарантированного времени реакции на события. Наличие опасного напряжения на электролитической ванне в процессе МДО требует дополнительного контура безопасности работа которого должна обеспечиваться даже при сбое системы управления. Таким образом построение распределенной системы управления [1, 4, 8, 9], снижающей риски возникновения и развития внештатных ситуаций, а также обладающей возможностями перспективного совершенствования информационного обеспечения может быть построена по трехуровневой схеме. Выделим основные функции контроля и управления, которые необходимо реализовать при проектировании оборудования МДО применительно к трехуровневой схеме построения системы (рис. 1):



Рис. 1. Трехуровневая схема построения системы управления и контроля установкой МДО

Fig. 1. Three-level scheme for constructing a control and monitoring system for an MAO plant

- аппаратный уровень (У1), на котором скорость реакции максимальная, логика работы на данном уровне определяется только электрической схемой включения оборудования;
- уровень контроллера управления (У2), реализующего логику управления в масштабе реального времени, где скорость реакции на воздействия обеспечивается принципом работы системы на базе прерываний и прямым контролем исполнительных устройств;
- уровень общей логики управления системой и реализации сервисных функций (У3), где основным приоритетом является удобство работы оператора и наличие информационных систем, обеспечивающих работу СППР, обработку данных и обмен ими с окружением.

При наличии трехуровневой схемы построения системы управления возможно эффективно распределить задачи по уровням с целью достижения необходимой безопасности работы системы и качества реализуемых функций. Для решения указанных функциональных задач необходимо перейти от требуемых функций к алгоритмам работы на каждом уровне и их взаимодействию.

На структурной схеме (рис. 2) приведены основные функциональные блоки установки МДО [11] и структурные связи между ними. Центральным элементом установки является блок управления на базе микроконтроллера. Он обеспечивает управление всеми компонентами технологического источника тока (силовым преобразователем, блоком управления тиристорами, блоками измерения электрических параметров, блоками силовых конденсаторов) и обеспечивает функционирование системы аварийных защит (У2). Блок управления связан с ПК, на котором исполняется программа АРМ оператора, реализующая третий уровень управления (У3) и обеспечивающая измерение и контроль неэлектрических параметров процесса, логику запуска и остановки процесса обработки.

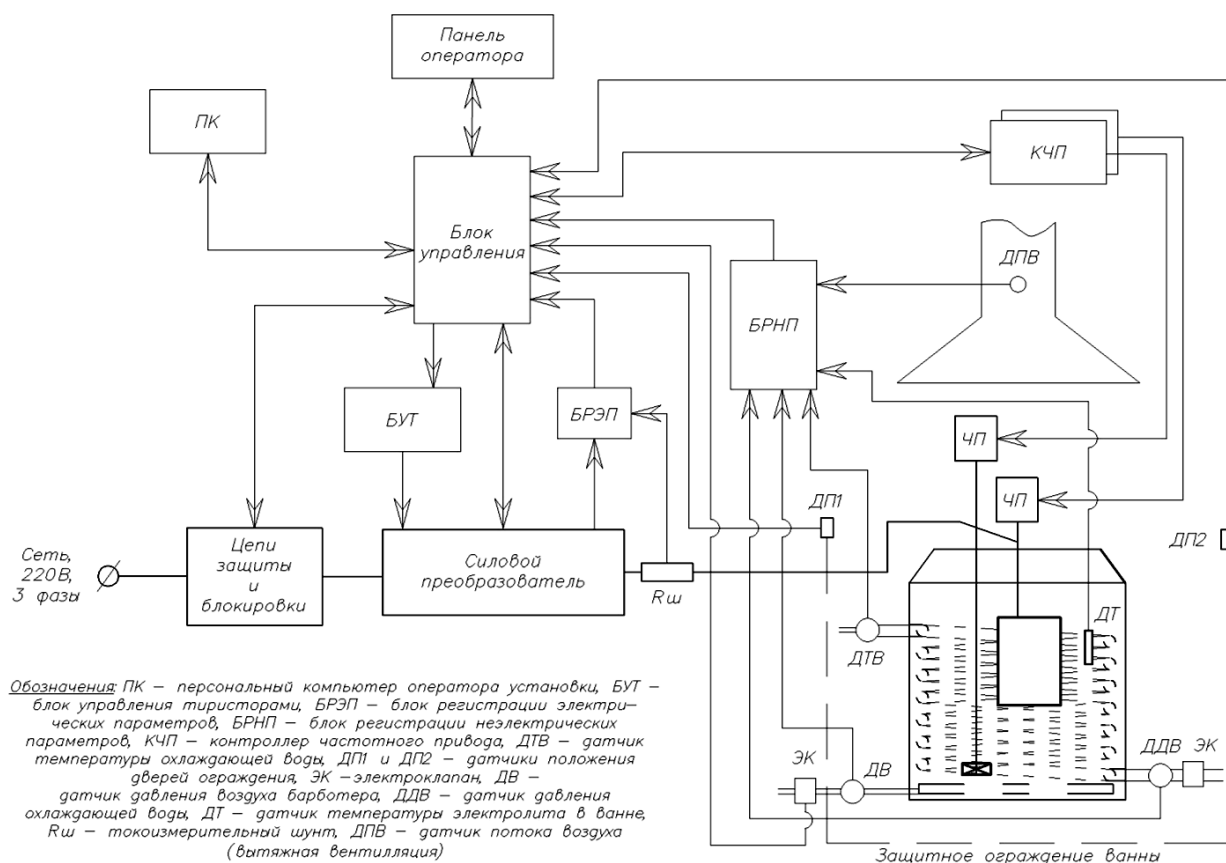


Рис. 2. Структурная схема установки МДО
Fig. 2. Structural diagram of the MDO plant

На аппаратном уровне (У1) должна обеспечиваться безопасность работы оператора с оборудованием при таких факторах как высокое напряжение на электромеханическом узле и электролитической ванне. При проектировании были рассмотрены основные особенности установки МДО с точки зрения возможностей аппаратной защиты и предложены следующие ее элементы:

1. Блокировки включения силовой части технологического источника тока (ТИТ) при следующих событиях:

- нештатном перезапуске контроллера уровня У2;
- нажатых кнопках аварийной защиты (действиях оператора);

- доступа к силовой части источника тока (открытие дверей) и ограждению электромеханического узла (открытие дверей).

2. Аварийные защиты с отключением силовой части ТИТ при:

- отсутствии сигнала штатной работы уровня У2;
- появлении напряжения на электролитической ванне без сигнала разрешения с уровня управления У2;
- выходе за допустимые уровни токов в силовых цепях (автоматические выключатели с контролем состояния).

На уровне У2 доступны следующие логические блокировки: проверка последовательности включения силовых элементов с контролем их состояния, отслеживание появления напряжений на силовых элементах схемы без их коммутации, отсутствие необходимых напряжений в контрольных точках, превышение допустимых уровней напряжений и токов.

Верхним уровнем является уровень У3, реализуемый ПО АРМ установки МДО с решением следующих задач: защиту от включения установки без необходимых прав доступа оператора, защиту от изменения рецептов обработки, защиту при выходе параметров силовых цепей за допустимые границы, защиту при выходе за допустимый диапазон напряжения питания, защиту по выходу параметров процесса МДО обработки за установленные границы.

Логика работы каждого из уровней системы должна включать контроль со стороны смежных уровней таким образом, чтобы обработать возникшую ситуацию, перейти в новое состояние и сообщить остальным уровням о возникшей ситуации и своем новом состоянии. Для реализации такой логики работы между уровнями У2 и У3 была организована связь на базе Ethernet интерфейса в виде нескольких логических каналов: канала передачи служебной информации (MCU Mode/Status) от контроллера (master) к АРМ (slave), канала передачи служебной информации (PC Status/Event/Flag) и запросов на передачу измерений от АРМ (master) к контроллеру (slave), канала передачи измеренной информации от контроллера (master) к АРМ (slave). На схеме (рисунок 3) показано взаимодействие между подсистемами и направление информационных потоков.

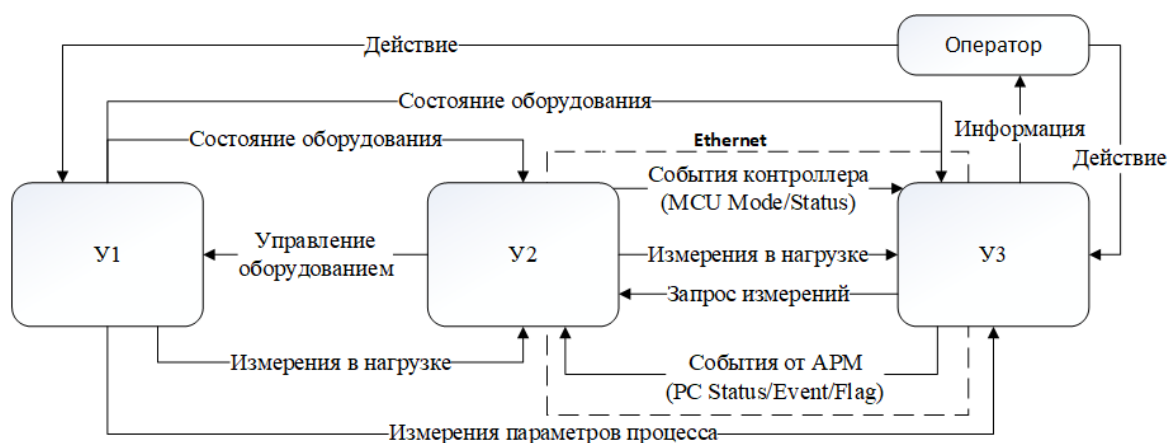


Рис. 3. Схема взаимодействия подсистем управления и оператора
Fig. 3. Scheme of interaction between control subsystems and operator

РЕАЛИЗАЦИЯ ПРЕДЛОЖЕННОГО ПОДХОДА ДЛЯ АЛГОРИТМОВ РАБОТЫ КОНТРОЛЛЕРА ТИТ И ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПК

Алгоритм работы контроллера и АРМ удобно реализовать в виде конечных автоматов со следующими состояниями: для контроллера – начало работы, ожидание запуска, подготовка режима, работа режима, пауза режима, авария; для АРМ – начало работы, работа с архивами, редактирование рецептов, настройки оборудования, рецепт запущен, режим прерван, пауза режима. На рисунках 4 и 5 приведены алгоритмы работы соответственно контроллера и ПО ПК, обеспечивающие совместное функционирование и перекрестный контроль состояния элементов распределенной системы управления.

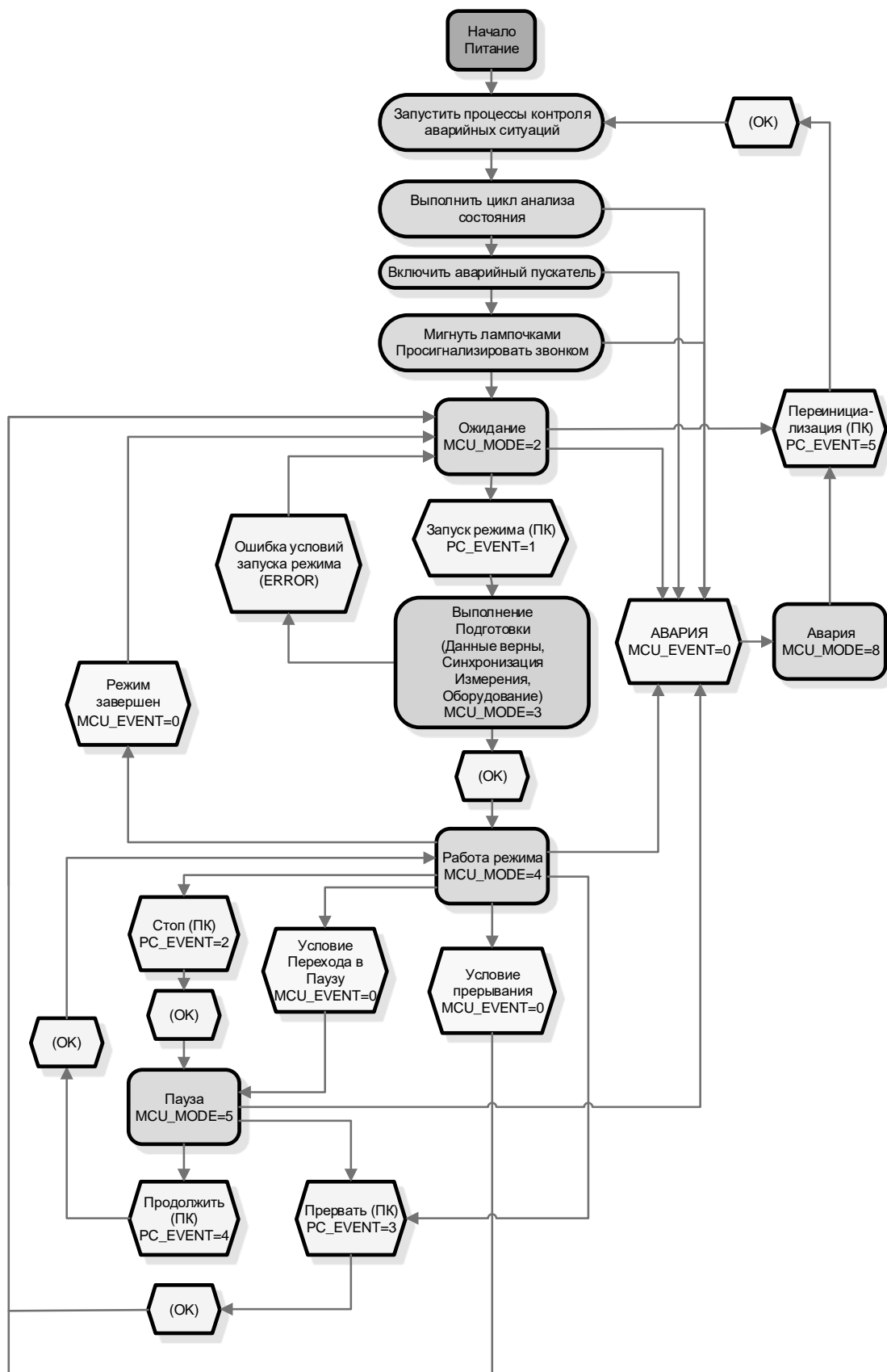


Рис. 4. Диаграмма режимов работы контроллера
Fig. 4. Block diagram of TIT controller operation modes

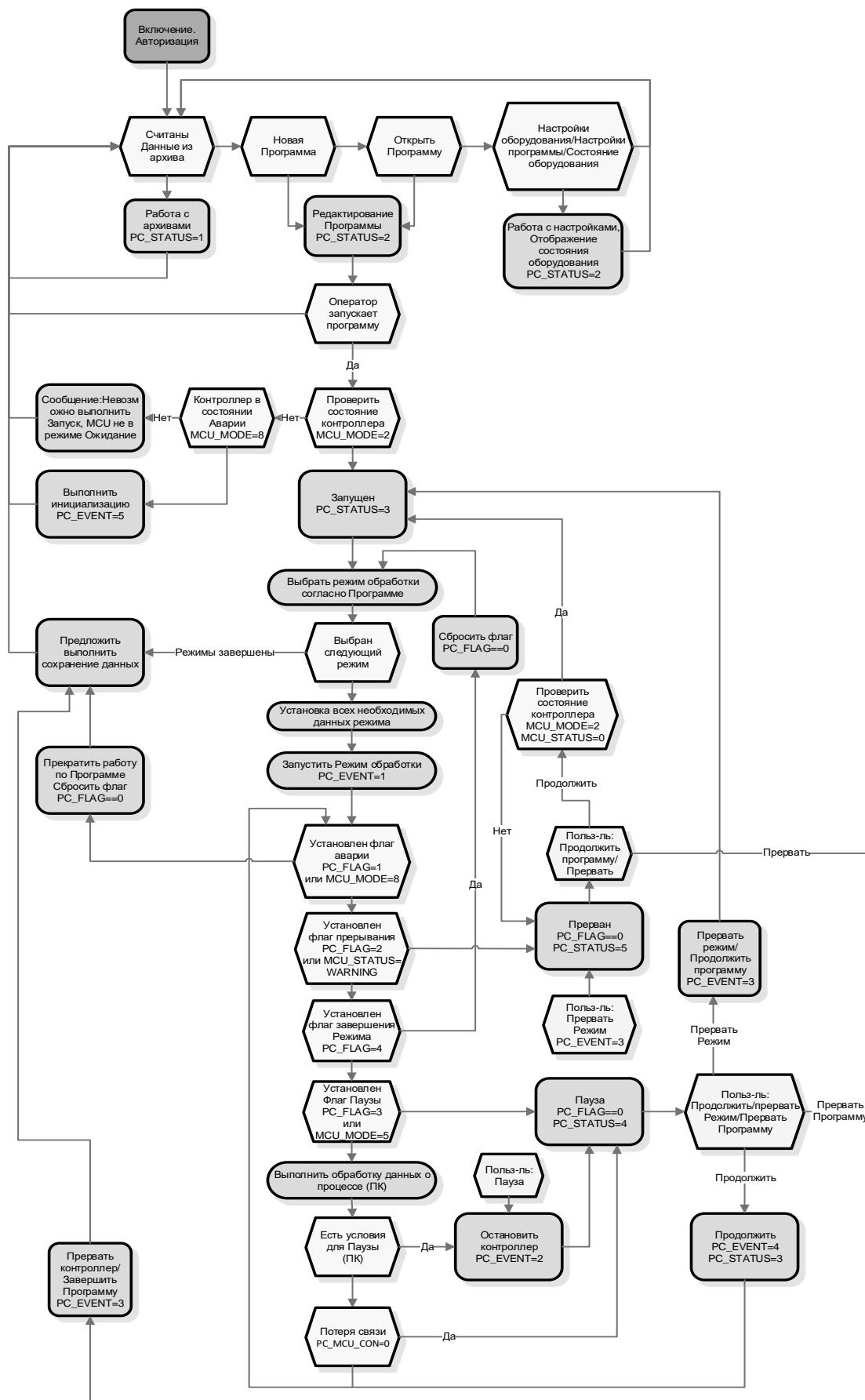


Рис. 5. Диаграмма работы АРМ оператора установки МДО

Fig. 5. Diagram of the work of the workstation of the operator of the MAO plant

Работа установки происходит следующим образом, контроллер непрерывно проводит анализ состояния оборудования и параметров процесса, обеспечивает автоматический переход из состояния «Работа» в режим «Пауза», «Авария» или «Ожидание» в зависимости от логики работы. Логика работы контроллера включает обнаружение аварийных (действие - отключение оборудования) и предупредительных (действие - переход оборудования в состояние ожидания) состояний, а также переход из состояния «Работа» в состояние «Ожидание» по истечению заданного времени режима обработки.

АРМ оператора обеспечивает следующие основные возможности:

- многоуровневый парольный доступ операторов установки с различными правами доступа: запуск режимов обработки, создание и редактирование режимов обработки, просмотр архивов, доступ к параметрам настройки установки;

- вывод удобной графической и необходимой текстовой информации о происходящих процессах: графиках напряжений, токов, температур, графиков в виде эпюр тока/напряжения на нагрузке, текущей схеме силового блока, параметрах режима обработки, состоянии оборудования ТИТ и электромеханического узла;

- создание, сохранение, редактирование, копирование, запуск на выполнение рецептов обработки. Обеспечивается возможность остановки процесса обработки с последующим продолжением (режим «Пауза») и возможность автоматического прерывания процесса при выходе параметров за контрольные параметры;

- сохранение информации о пользователях, рецептах обработки и параметрах проведенных обработок реляционной базе данных;

- сохранение и последующий просмотр информации в графическом и текстовом виде о выполненных обработках и применяемых рецептах с возможностями масштабирования, выбора необходимой информации для отображения и сохранения информации в формате MS Excel для последующего анализа и синтеза моделей, описывающих процесс.

Перечень регистрируемых аварийных состояний (по условию ИЛИ) (рис. 6):

- превышение напряжения на конденсаторах, тиристорах или цепи нагрузки,
- превышение токов в нагрузке, блоках конденсаторов, суммарного тока (нагрузка + конденсаторы);

- отсутствие сигнала от блока аппаратной защиты после включения ТИТ;

- наличие включенного состояния силового пускателя при включении установки;

- срабатывание 1-го или 2-го блока защит конденсаторов;

- наличие сигнала от блока аппаратной защиты в рабочем режиме («Работа», «Включение режима», «Окончание режима»);

- нештатное выключение аварийного пускателя (сработала аварийная защита);

- появление сигнала от блока аппаратной защиты при выключенном пускателе;

- несоответствие состояния аварийного пускателя;

- несоответствие сигнала состояния пускателя коммутации обмоток пускателей;

- несоответствие сигналов состояния пускателей конфигурации силового блока;

- отсутствие сигнала от блока защиты при включении пускателя нагрузки;

- открытие дверей ограждения в режимах «Работа», «Прерывание режима», «Окончание режима»;

- открытие передней или задней двери ТИТ при включенном аварийном пускателе.

В случае появления любого из аварийных событий происходит немедленное отключение питания всей силовой части установки и блокировка повторного включения.

Прерывание процесса с прекращением дальнейшей обработки и переходом в режим «Ожидание» происходит при возникновении любого из следующих событий:

- открытия дверей ТИТ;

- превышении аварийных пределов фазных или линейных напряжений питающей сети;

- при пропадании связи со счетчиком электроэнергии, блоком ввода неэлектрических параметров или панелью оператора.



Рис. 6. Условия формирования событий контроллера
Fig. 6. Conditions for generating controller events

Предупреждение оператора, отключение силовых цепей и переход в режим «Пауза» происходит при возникновении любого из следующих событий:

- при открытии передней двери ограждения;
- при превышении предупредительных пределов фазных или линейных напряжений силовых фаз;
- при нажатии любой кнопки STOP (на столе АРМ ПК, ТИТ, ограждении);
- пропадании связи с ПК или контроллерами частотного привода.

В процессе обработки детали методом МДО необходимо отслеживать различные ситуации, при которых необходимо выполнить корректировку рецепта или прервать процесс обработки. Контроль возникновения таких ситуаций целесообразней возложить на уровень УЗ, где будут выполняться алгоритмы с регистрацией наступления следующих событий:

- превышение максимального значения анодного или катодного напряжения, или тока для обрабатываемого материала,
- превышение максимального значения температуры электролита;
- контроль превышения температуры контура охлаждения;
- контроль недостаточного давления контура охлаждения;

- контроль недостаточного давления в системе барботажа;
- контроль скорости потока воздуха в системе вентиляции;
- контроль количества электричества; прошедшего через электролит (выработка);
- детектирования угасания МДО-разряда;
- детектирования отсутствия зажигания МДО разряда;
- контроль наличия детали;
- детектирования процесса растравливания детали и др.

Возникновение одного или нескольких событий может быть использовано для автоматической приостановки процесса обработки при условии отсутствия маскирования такого события на уровне УЗ.

Программное обеспечение контроллера и АРМ также производят контроль информационного обмена, кроме того ПО АРМ контролирует получение и исполнение команд контроллером за счет анализа его внутреннего состояния. При разрыве соединения между установкой и контроллером происходит установка состояния «Пауза» в контроллере. При обработке и контроллер и ПО на ПК могут при наступлении условий для остановки «Пауза» или прекращении работы «Прерывание» остановить или прервать процесс обработки без участия оператора. При этом после перехода процесса в состояние «Пауза» - имеется возможность продолжить процесс после устранения причины остановки.

На уровне УЗ, в общей базе данных установки также хранятся и настройки (конфигурации) предупредительных и аварийных событий, реализованные в форме шаблонов, как общие для оборудования, так и связанные с тем или иным обрабатываемым материалом или технологическим режимом.

ВЫВОДЫ

Предложенные подходы к проектированию системы управления установки для микродугового оксидирования и их реализация в виде алгоритмов основываются на принципах дублирования критических функций и взаимного контроля составных частей. Пример разработанных алгоритмов для конечных автоматов, реализованных на различных уровнях системы обеспечивает качественное управление оборудованием с развитой функциональностью на уровне АРМ оператора и дублирование критических функций блокировок и защит. Кроме того, рассмотренная реализация распределенной системы управления установкой отличается возможностью дальнейшего развития информационных подсистем, которые возможно реализовывать на уровне АРМ оператора выполненного на базе ПК.

Список литературы

1. Бадаев Р.А. Автоматизированная установка микродугового оксидирования / Р.А. Бадаев, О.В. Карпанин, С.Р. Таишев // Материалы и технологии XXI века: сборник статей XIV Международной научно-технической конференции, Пенза, 28–29 марта 2016 года. – Пенза: Автономная некоммерческая научно-образовательная организация «Приволжский Дом знаний», 2016. – С. 136-140.
2. Большенко А.В. Импульсные регуляторы тока для микроплазменного оксидирования: Дис. ... к.т.н. Новочеркасск, 2013. – 202 с.
3. Большенко А.В. Разработка источника питания для установки микродугового оксидирования // Ползуновский альманах. – 2010. – Вып. 3.
4. Борилов В.Н., Баранов П.Ф. Концепция системы контроля и управления технологическим процессом формирования микроплазменных покрытий // Известия ТПУ. 2011. – №5.
5. Виноградов А.В. Разработка и исследование источника тока для микродугового оксидирования деталей приборов и оценка его технологических возможностей: Дис. ... к.т.н. М. 2013. – 194 с.
6. Герасимов В.А., Руднев П.С. Источник питания для микродугового оксидирования // Вологодские чтения. 2008. №69.
7. Гринченков В.П. Технологический источник тока для процесса микроплазменного оксидирования [Текст] / В.П. Гринченков, А.В. Большенко // Изв. Вузов. Сев. – Кавк. Регион. Техн. Науки. – 2011. – №4. – С. 65-68.

8. Карпанин О.В. Автоматизированная установка для микродугового окисления / О.В. Карпанин, А.В. Сафонов, С.Ю. Ометова. — Текст : непосредственный // Молодой ученый. – 2015. – № 9 (89). – С. 247-251.
9. Людин В.Б. Универсальный технологический источник тока для микродугового окисления [Текст] // НМТ-2008. Материалы Всероссийской научно-техн. конф. Т. 2. -М.: ИЦ МАТИ, 2008, – С. 141-143.
10. Павленко А.В. Источник питания для устройств микродугового окисления / А.В. Павленко, А.В. Большенко, В.С. Пузин, И.В. Васюков // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки. 2011, – №1.
11. Яценко В.М. Функциональные возможности электротехнического оборудования для микродугового окисления [Текст] / В.М. Яценко [и др.] // Научное обозрение. – 2015. – № 22. – С. 264-274.

References

1. Badaev R.A. Automated installation of microarc oxidation / R.A. Badaev, O.V. Karpanin, S.R. Taishev // Materials and technologies of the XXI century: collection of articles of the XIV International Scientific and Technical Conference, Penza, March 28–29 2016. – Penza: Autonomous non-profit scientific and educational organization “Privolzhsky House of Knowledge”, 2016. – P. 136-140.
2. Bolshenko A.V. Pulse current regulators for microplasma oxidation: Dis. ... Ph.D. Novocherkassk, 2013. – 202 p.
3. Bolshenko A.V. Development of a power source for a micro-arc oxidation installation // Polzunovsky almanac. – 2010. – Issue. 3.
4. Borikov V.N., Baranov P.F. Concept of a control and management system for the technological process of forming microplasma coatings // Izvestia TPU. 2011. – No. 5.
5. Vinogradov A.V. Development and research of a current source for micro-arc oxidation of device parts and assessment of its technological capabilities: Dis. ... Ph.D. M. 2013. – 194 p.
6. Gerasimov V.A., Rudnev P.S. Power source for micro-arc oxidation // Vologda readings. 2008. –No. 69.
7. Grinchenkov V.P. Technological current source for the process of microplasma oxidation [Text] / V.P. Grinchenkov, A.V. Bolshenko // Izv. Universities. North - Kavk. Region. Techni. Science. – 2011. – No. 4. – WITH. 65-68.
8. Karpanin O.V. Automated installation for micro-arc oxidation / O.V. Karpanin, A.V. Safonov, S.Yu. Ometova. — Text: immediate // Young scientist. – 2015. – No. 9 (89). – P. 247-251.
9. Lyudin V.B. Universal technological current source for microarc oxidation [Text] // NMT-2008. Materials of the All-Russian Scientific and Technical. conf. Т. 2. – М.: IC МАТИ, 2008, – pp. 141-143.
10. Pavlenko A.V. Power supply for micro-arc oxidation devices / A.V. Pavlenko, A.V. Bolshenko, V.S. Puzin, I.V. Vasyukov // News of universities. North Caucasus region. Series: Technical Sciences. 2011, –No. 1.
11. Yatsenko V.M. Functional capabilities of electrical equipment for microarc oxidation [Text] / V.M. Yatsenko [et al.] // Scientific review. – 2015. – No. 22. – P. 264-274.

Яценко Владимир Михайлович, директор ООО "ЭЛСИС БелГУ"

Ломакин Владимир Васильевич, кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры прикладной информатики и информационных технологий

Yatsenko Vladimir Mikhailovich, Director of LLC "EL SIS BelSU"

Lomakin Vladimir Vasilievich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Applied Informatics and Information Technologies