

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Лысьвенский филиал федерального государственного автономного
образовательного учреждения высшего образования
«Пермский национальный исследовательский политехнический университет»

Факультет: Профессионального образования

Направление: 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»

Профиль: Автоматизированный электропривод и робототехнические комплексы

Кафедра: Общенаучных дисциплин

Доцент с и.о. зав кафедрой ОНД

_____ К.В. Кондратьева

« 19 » июня 2026 г.

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

на тему:

«Автоматизация и модернизация электрооборудования дробемётной установки рессорного производства АО «Чусовской металлургический завод»»

Студент: _____ А.П. Курочкин
(подпись, дата)

Группа: АЭП-21-1603ЛФ

Состав ВКР:

1. Пояснительная записка на 76 стр.
2. Графическая часть на 3 листах.
3. Электронный носитель с материалами ВКР.

Руководитель: _____ ст. преподаватель, В.Г. Лопатин
(подпись, дата)

Проверено

на наличие

заимствования: _____ канд. экон. наук, доцент, К.В. Кондратьева
(подпись, дата)

Лысьва 2026

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Лысьвенский филиал федерального государственного автономного
образовательного учреждения высшего образования
«Пермский национальный исследовательский политехнический университет»

Факультет: Профессионального образования

Направление: 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»

Профиль: Автоматизированный электропривод и робототехнические комплексы

Кафедра: Общенаучных дисциплин

Доцент с и.о. зав кафедрой ОНД

_____ К.В. Кондратьева

« 03 » марта 2026 г.

ЗАДАНИЕ
на выпускную квалификационную работу

Фамилия, имя, отчество Курочкин Антон Павлович

Группа: АЭП-21-1бозЛФ

Начало выполнения работы: 05 февраля 2026 г.

Срок предоставления на кафедру: 11 июня 2026 года

Защита работы на заседании ГЭК: 22 июня 2026 года

1. Выпускная квалификационная работа на тему: «Автоматизация и модернизация электрооборудования дробемётной установки рессорного производства АО «Чусовской металлургический завод»».

2. Исходные данные к работе: технические характеристики установки (оборудования), электропривода, устройств, входящих в состав проекта. Учебная и техническая литература, сайты по автоматизированному электроприводу типовых производственных механизмов и технологических комплексов, автоматизации технологических процессов.

3. Содержание пояснительной записки:

а) Введение. Отразить состояние и актуальность представляемой темы, сформулирована цель и конкретные задачи исследований. Также конкретизировать объект и предмет исследований, принцип его работы. Определить методы исследований и значимость работы для теории и практики, непосредственно для конкретного производства. В краткой форме сформулировать необходимость разработки данной темы, указать текущее состояние разрабатываемой темы, к какой области науки и техники относится выполняемая работа. Описать требования, предъявляемые к безопасности труда.

Общий объём до 5 страниц.

б) Основная часть:

Исследовательский раздел. Изучение и анализ нормативно-правовых документов и теоретических вопросов, состояние дел в избранной предметной области на основе анализа литературных источников, обоснование принятых решений. В данный раздел включить:

- 1) Общее описание дробемётной установки, её технические характеристики;
 - 2) Определение круга решаемых задач, связанных с регулированием технологических параметров;
 - 3) Меры безопасности при эксплуатации дробемётной установки;
 - 4) Состав, устройство и работа установки и ее основных частей .
 - 5) Управление и блокировки;
 - 6) Работа электрооборудования;
 - 7) Определение особенностей и проблем системы управления и электропривода,
 - 8) Подходы к построению современной системы регулирования: управление, контроль параметров, поддержание безопасных условий работы;
- Объем от 15 до 30 страниц. В конце раздела должны быть сделаны краткие выводы.

в) Технологический (конструкторский) раздел. В данном разделе выполнить сам проект, а именно:

- 1) Выбор электрооборудования;
 - 2) Разработку структурной и функциональной схемы автоматизации;
 - 3) Разработку структурной и принципиальной электрической схем установки;
 - 4) Разработку системы управления;
 - 5) Разработку связи между отдельными элементами, связь с электроприводом;
 - 6) Описание работы разработанной схемы. Полученные результаты сравнить с известными техническими решениями;
 - 7) Сделать выводы о проделанной работе.
- Объём от 15 до 30 страниц.

Заключение. Краткое изложение решаемых в рамках ВКР задач и полученных результатов, практическая значимость работы для исследуемого объекта, соответствие полученных результатов теме и заданию ВКР. Определить значимость проделанной работы для дальнейшего её использования. Объем до 1,5 страниц.

4. Перечень графического материала.
 - 4.1. Внешний вид дробемётной установки;
 - 4.2. Схема электрическая принципиальная силовой части;
 - 4.3. Схема электрическая принципиальная цепи управления;
5. Дополнительные указания: нет
6. Основная литература
 - 6.1. ГОСТ 7.32-2017 Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Отчет о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления.

- 6.2. Белов, М.П. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов: Учебник для вузов / М.П. Белов, В.А. Новиков, Л.Н. Рассудов. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 576 с.
- 6.3. Белоус, А.И. Полупроводниковая силовая электроника / А.И. Белоус, С.А. Ефименко, А.С. Турцевич. – Москва: Техносфера, 2013. – 216 с. – ISBN 978-5-94836-367-7.
- 6.4. Билоус О.А., Иванов А.П. Электронные преобразовательные устройства. Электрон. версия учебного пособия. – Пермь: Изд-во ПГТУ, 2010. – 212 с. – Режим доступа: <http://elib.pstu.ru/docview/?id=486.pdf>, свободный.
- 6.5. Зиновьев, Г.С. Силовая электроника: учебное пособие для бакалавров / Г.С. Зиновьев. – М.: Юрайт, 2014. – 667 с.
- 6.6. Лыков, А.Н. Автоматизация технологических процессов и производств: учеб. пособие / А.Н. Лыков. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2008. – 423 с.
- 6.7. Мышляева, И.М. Цифровая схемотехника: Учебник для сред. проф. образования. – М.: Издательский центр «Академия», 2005. – 400с.
- 6.8. Палагута, К.А. Микроконтроллерное управление электроприводом: Учебное пособие. - М.: МГИУ, 2008. – 298 с.
- 6.9. Попков, О.З. Основы преобразовательной техники. Учебное пособие – М.: изд-во МЭИ, 2010. – 200с.
- 6.10. Розанов, Ю.К., Лепанов, М.Г. Силовая электроника Учебник и практикум для вузов; под ред. Розанова Ю.К. Москва: Изд. Юрайт – 2021 – 206 с.
- 6.11. Силовая полупроводниковая элементная база. Технология производства. Конструктивные решения: учебное пособие / В.Я. Фролов, А.М. Сурма, К.Н. Васерина, А.А. Черников. – Санкт-Петербург : Лань, 2019. – 228 с. – ISBN 978-5-8114-3507-4.
- 6.12. Электротехнический справочник: В 4 т. /Под общ. ред. профессоров МЭИ В.Г. Герасимова и др. – 8-е изд., испр. и доп. – М.: Издательство МЭИ, 1998, 2002.

Руководитель выпускной квалификационной работы студента

Руководитель ВКР _____ ст. преподаватель В.Г. Лопатин
(подпись, дата)

Задание получил _____ А.П. Курочкин
(подпись, дата)

КАЛЕНДАРНЫЙ ГРАФИК ВЫПОЛНЕНИЯ ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ БАКАЛАВРА

№ п/п	Содержание разделов	Объем этапа, в %	Срок выполнения		Подпись научного руководителя
			начало	конец	
	Введение	5/5	10.02.2026	03.03.2026	
1.	Исследовательский раздел	35/40	23.02.2026	24.04.2026	
1.1.	Постановка задачи проектирования	5/10	23.02.2026	13.03.2026	
1.2.	Определение круга решаемых задач	20/25	13.03.2026	24.03.2026	
1.3	Детальное рассмотрение работы элементов и составных частей	35/40	24.03.2026	04.04.2026	
2.	Технологический (конструкторский) раздел	50/90	24.04.2026	14.06.2026	
2.1.	Разработка структурной и функциональной схем	10/50	24.04.2026	08.05.2026	
2.2.	Разработка принципиальной электрической схемы	25/65	08.05.2026	18.05.2026	
2.3	Реализация поставленных задач и сравнение полученных результатов с известными техническими решениями	50/90	18.05.2026	05.06.2026	
	Заключение	2/92	06.06.2026	07.06.2026	
	Список использованных источников	1/93	08.06.2026	09.06.2026	
	Оформление ВКР	2/95	09.06.2026	10.05.2026	
	Представление ВКР на проверку и отзыв научному руководителю		09.06.2026	10.06.2026	
	Представление ВКР на проверку заведующему кафедрой		09.06.2026	10.06.2026	
	Защита ВКР на заседании ГЭК	5/100	22.06.2026	23.06.2026	

Руководитель ВКР _____ Ст. преподаватель, В.Г. Лопатин
«10» июня 2026 г.

Задание получил _____ А.П. Курочкин
«05» февраля 2026 г.

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ	5
ВВЕДЕНИЕ	8
ГЛАВА 1 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ АВТОМАТИЗАЦИИ И МОДЕРНИЗАЦИИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ	10
1.1 Понятие и сущность модернизации электрооборудования промышленных установок.....	10
1.2 Понятие и сущность автоматизации электрооборудования промышленных установок.....	13
ГЛАВА 2 ИССЛЕДУЕМЫЙ ОБЪЕКТ И АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ.....	16
2.1 Общая характеристика исследуемого объекта	16
2.1.1 Технические характеристики турбин 4Б114.....	17
2.1.2 Анализ режима эксплуатации и выявленные недостатки установки.....	18
2.2 Анализ существующей системы управления дробеметной установки.....	20
2.3 Выбор контроллера	25
2.3.1 Обзор рассматриваемых вариантов	26
2.3.2 Сравнительный анализ вариантов контроллеров	28
2.4 Выбор устройства плавного пуска для электропривода турбины	31
2.4.1 Расчёт основных параметров устройства плавного пуска.....	31
2.4.2 Исходные данные и подбор оборудования	33
2.5 Выбор регулирующего клапана для дозирования дроби с аналоговым управлением.....	39
2.5.1 Расчёт основных параметров исполнительного механизма.....	39
2.5.2 Выбор исполнительных механизмов	41
2.6 Выбор трансформаторов тока для контроля работы электроприводов турбин	45
2.6.1 Выбор диапазона измерения.....	46

2.6.2 Анализ вариантов трансформаторов тока	47
2.7 Выводы по главе 2	53
ГЛАВА 3 РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ КОНТРОЛЛЕРА УПРАВЛЕНИЯ ДРОБЕМЁТНОЙ УСТАНОВКОЙ.....	55
3.1 Карта входов/выходов и структура программы	56
3.2 Разработка алгоритмов управления	57
3.3 Вывод по главе 3	67
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	68
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	70
ПРИЛОЖЕНИЕ А	74
ПРИЛОЖЕНИЕ Б	76

ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

АСУ ТП — автоматизированная система управления технологическим процессом. Представляет собой связку модулей и программ, которая управляет производственным оборудованием и следит за параметрами процесса.

Байпас (bypass) — обходной контур в силовой части устройства плавного пуска (УПП). Реализуется контактором, который шунтирует тиристоры после разгона двигателя. Нужен, чтобы в рабочем режиме на тиристорах не выделялось тепло.

Взвод цепи управления — подача напряжения на цепи управления исполнительными механизмами. Выполняется только после того, как проверена готовность защит и блокировок.

Дробенаклёп — способ упрочнения поверхности металла за счет обработки стальной дробью. Поток дроби создает остаточные напряжения сжатия в поверхностном слое, за счет чего повышается прочность детали.

HMI (Human Machine Interface) — человеко-машинный интерфейс. Это комплекс (программный плюс аппаратный), который показывает оператору, что происходит в процессе, позволяет вводить команды и выводит диагностику.

Дискретный сигнал — сигнал, который принимает только конечное число значений (обычно два: логический «0» и «1»). Передает информацию от кнопок, концевых выключателей, реле — любых устройств с двумя устойчивыми состояниями.

Дробемётная установка — промышленное оборудование для очистки и упрочнения металлических изделий. Принцип действия — бомбардировка стальной дробью, разогнанным центробежными турбинами.

Исполнительный механизм — устройство, которое непосредственно воздействует на объект управления по команде от автоматики. Это может быть электродвигатель, клапан, заслонка, контактор.

Каскадный пуск — последовательное включение электроприводов в технологической линии с временными задержками. Используется для снижения пусковых токов, чтобы не перегружать питающую сеть.

LAD (Ladder Diagram) — язык программирования ПЛК по стандарту МЭК 61131-3. Графический язык, где логика управления изображается в виде релейно-контакторных схем (лестничных диаграмм).

LOGO! Soft Comfort — среда для разработки и настройки программируемых логических реле Siemens LOGO!. Поддерживает языки FBD и LAD, умеет симулировать работу программы и создавать документацию.

Modbus — открытый промышленный протокол обмена данными по схеме «клиент-сервер». Часто применяется для связи между контроллерами, панелями оператора.

Наладочный режим — режим работы системы управления, при котором исполнительными механизмами можно управлять по отдельности, независимо от основного алгоритма. Нужен для обслуживания, диагностики и пусконаладочных работ.

ПЛК (программируемый логический контроллер) или ПЛР (программируемое логическое реле) — специализированный промышленный компьютер для автоматизации процессов. Работает в реальном времени и управляет механизмами по загруженной в него программе.

ПНР — пусконаладочные работы. Проверка, настройка и ввод в эксплуатацию оборудования и систем автоматизации после монтажа, но до начала промышленной работы.

RS-триггер — элемент с двумя входами: установки (S) и сброса (R). Используется в программируемых контроллерах, когда нужно запомнить состояние или зафиксировать какое-то событие.

САУ — система автоматического управления. Это просто набор технических и программных средств, которые ведут объект по заданному алгоритму без участия человека.

ТТ (трансформатор тока) — измерительный преобразователь, обеспечивает гальваническую развязку и переводит большой первичный ток силовой цепи к безопасному для входа контроллера значению.

УПП — устройство плавного пуска. Полупроводниковый прибор, который плавно повышает напряжение и ток при запуске асинхронного двигателя, чтобы снизить механические и электрические нагрузки на оборудование.

Уставка — заданное пороговое значение контролируемого параметра (тока, времени, давления). Если параметр дошел до уставки, автоматика делает что-то управляющее либо выдает аварию.

Ethernet — стандарт проводных локальных сетей. В промышленной автоматике используется для быстрого обмена данными между контроллерами, панелями оператора и верхним уровнем системы.

Profinet — открытый промышленный стандарт на базе Ethernet. Обеспечивает детерминированную передачу данных в реальном времени для систем автоматизации, особенно на оборудовании Siemens.

SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) — диспетчерское управление и сбор данных. Программный пакет для создания систем, которые в реальном времени собирают, обрабатывают, показывают и хранят информацию об объекте управления.

SSR (Solid State Relay) — твердотельное реле. Коммутирует силовое напряжение с помощью слаботочного сигнала. Позволяет внешним контроллерам управлять мощными приборами, причем гальванической развязки между управляющей электроникой и нагрузкой нет, поэтому помехи не влияют на работу устройства.

IP (степень защиты оболочки) — система классификации, которая показывает, насколько оболочка устройства защищает от доступа к опасным частям, от попадания твердых предметов (например, пыли) и воды.

ВВЕДЕНИЕ

В современных условиях уровень конкурентоспособности промышленного предприятия определяется тремя факторами: энергоэффективностью, надежностью оборудования и стабильностью качества продукции. Для рессорного производства, поставляющего детали в автомобильную отрасль, качество поверхностной обработки металлических изделий имеет критическое значение. Дробеметная установка в данном производстве является ключевым узлом, обеспечивающим очистку и упрочнение поверхности рессорных листов перед нанесением покрытия или сборкой готовых изделий.

Значительная часть дробеметных установок, находящихся в эксплуатации, была введена в строй несколько десятилетий назад. Их электрооборудование построено на релейно-контакторной логике и асинхронных двигателях с прямым пуском. Такая схема имеет ряд недостатков: высокие пусковые токи, механические удары в момент пуска, затрудненную диагностику отказов, отсутствие автоматизации. Следствием являются простои оборудования и повышенный расход электроэнергии.

В связи с изложенным, автоматизация и модернизация электрооборудования дробеметной установки на базе современных программируемых логических контроллеров (ПЛК), устройств плавного пуска (УПП) и панелей оператора является актуальной задачей. Решение этой задачи позволяет перейти к обслуживанию по фактическому состоянию, повысить точность управления технологическим процессом и обеспечить соответствие требованиям промышленной безопасности и энергоэффективности (включая элементы Индустрии 4.0) [1].

Объект исследования — технологический процесс дробеметной обработки рессорных листов и действующая дробеметная установка цеха рессорного производства.

Предмет исследования — электрические приводы и системы управления и автоматизации дробеметной установки, подлежащие модернизации.

Цель выпускной квалификационной работы — разработка проекта автоматизации и модернизации электрооборудования дробебетной установки, направленной на повышение надежности, энергоэффективности и качества технологического процесса.

Задачи работы:

- анализ текущего технического состояния электрооборудования дробебетной установки и выявление его недостатков;
- выбор современной элементной базы (ПЛК, УПП, датчики, исполнительные механизмы);
- разработка принципиальных электрических схем управления и силовых цепей;
- составление алгоритма работы системы автоматизации и программы для контроллера.

Научная новизна заключается в адаптации типовых решений автоматизации к специфическим условиям эксплуатации дробебетного оборудования в рессорном производстве, а именно: защита от абразивного воздействия и оптимизация циклов работы двигателей транспортировки.

ГЛАВА 1 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ АВТОМАТИЗАЦИИ И МОДЕРНИЗАЦИИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

1.1 Понятие и сущность модернизации электрооборудования промышленных установок

Модернизация электрооборудования представляет собой совокупность организационно-технических, инженерных и экономических мероприятий, направленных на качественное улучшение действующих электрических систем, узлов, агрегатов и сетей путём замены морально устаревших компонентов на современные аналоги и внедрения новых систем управления, защиты и мониторинга. Ключевая особенность модернизации состоит в том, что она выполняется без коренного изменения основной технологии производства и без полной замены базового технологического оборудования (станков, печей, камер), однако позволяет значительно расширить его функциональные возможности [2].

В условиях технологического прогресса срок морального старения электрооборудования сократился: если физический износ наступает через 20–30 лет, то моральное устаревание систем управления происходит каждые 5–7 лет, поэтому модернизация становится необходимым инструментом поддержания конкурентоспособности предприятия.

При разработке программы обновления основных фондов следует ограничивать модернизацию, капитальный ремонт и техническое перевооружение.

Капитальный ремонт направлен на восстановление паспортных характеристик оборудования путём замены изношенных элементов на идентичные, тогда как модернизация обеспечивает повышение технико-эксплуатационных показателей выше первоначального уровня, например за счёт установки электродвигателей повышенного класса энергоэффективности или частотных преобразователей.

Техническое перевооружение предполагает иной масштаб изменений: смену технологии производства, запуск новых линий или изменение номенклатуры продукции, при этом в его рамках модернизация электрооборудования сохраняет действующую технологическую схему и сосредоточена на обновлении силовых цепей, систем управления и электрообеспечения.

В отличие от реконструкции, которая предполагает изменение параметров всего предприятия или цеха (увеличение мощности, изменение планировки), модернизация носит локальный характер и выполняется для конкретных узлов или установок.

Проект модернизации решает несколько стратегических задач. Повышение энергоэффективности достигается за счёт применения двигателей с высоким классом энергоэффективности (IE3, IE4) [3], внедрения частотного регулирования для насосов, вентиляторов и конвейеров, что позволяет потреблять энергию пропорционально реальной нагрузке, а также за счёт компенсации реактивной мощности и снижения потерь в кабельных линиях.

Увеличение надежности и безотказности обеспечивается заменой морально и физически устаревших элементов (электромагнитных реле, контакторов с дугогасительными камерами) на твердотельные компоненты, программируемые логические контроллеры (ПЛК) и микропроцессорные защиты, что снижает вероятность отказов из-за механического износа коммутационных аппаратов [4].

Комплексная автоматизация технологических процессов предполагает переход к системам автоматического управления с уменьшением зависимости от оператора; применение ПЛК позволяет реализовать сложные алгоритмы, включая автоматический реверс конвейерных линий при аварийных ситуациях, дистанционный мониторинг состояния оборудования и интеграцию с системами верхнего уровня (SCADA, MES).

Одновременно решаются задачи повышения электробезопасности и охраны труда за счёт использования устройств защитного отключения, аварийных выключателей [5] и блокировок для ограничения доступа в опасные

зоны, что обеспечивает соответствие оборудования нормативным требованиям и снижает риск производственного травматизма.

Функции самодиагностики, протоколирования аварийных событий и передачи данных создают основу для перехода от регламентного обслуживания к обслуживанию по фактическому состоянию; использование элементов аналитики позволяет своевременно выявлять износ узлов и предотвращать внеплановые простои.

Техническая реализация модернизации электрооборудования включает несколько взаимосвязанных направлений: переход от релейно-контакторных схем к ПЛК сокращает габариты шкафов управления и упрощает модификацию алгоритмов без изменения силовых цепей; оснащение механизмов частотными преобразователями обеспечивает плавный пуск, торможение и регулировку скорости, снижая динамические нагрузки на редукторы и подшипники; обновление кабельных трасс с применением кабелей улучшенной конструкции, замена коммутационной аппаратуры на устройства с электронными расцепителями и приведение контуров заземления и молниезащиты к современным требованиям; визуализация технологических параметров и управление установкой осуществляются через промышленные панели оператора (HMI), а расширение базы датчиков (температура обмоток, вибрация, положение исполнительных механизмов, токи утечки) повышает информативность системы; объединение перечисленных узлов в единый информационный контур реализуется через промышленные интерфейсы обмена данными (Modbus RTU, PROFIBUS, PROFINET, Ethernet/IP) [6].

Проект модернизации выполняется поэтапно. На начальной стадии проводится энергетическое обследование и техническая диагностика действующего оборудования, включающая анализ режимов работы сети и выявление ограничений текущей схемы. На основе полученных данных разрабатывается проектная документация: формируются технические задания, принципиальные схемы, выполняется подбор компонентов и технико-экономическое обос-

нование. Следующий этап охватывает поставку оборудования, демонтаж отслуживших узлов, монтаж новых шкафов управления и прокладку кабельных трасс. Завершающая стадия включает пусконаладочные работы: настройку параметров приводов, загрузку программного обеспечения в контроллеры, комплексное опробование системы и обучение эксплуатационного персонала [2].

Таким образом, модернизация электрооборудования выступает инструментом продления ресурса действующих производственных фондов, обеспечивая адаптацию установок к современным требованиям эксплуатации за счёт снижения затрат, уменьшения энергопотребления и повышения уровня безопасности, при этом не требуя длительных остановок, характерных для полной реконструкции линий. В рамках данной выпускной квалификационной работы модернизация электрооборудования дробемётной установки предусматривает замену ручного управления на автоматизированный цикл, что непосредственно влияет на стабильность качества обработки рессорных листов и снижение себестоимости продукции.

1.2 Понятие и сущность автоматизации электрооборудования промышленных установок

Автоматизация электрооборудования представляет собой процесс внедрения программно-технических средств, направленный на минимизацию участия человека в управлении энергетическими и производственными потоками. Основная цель внедрения таких систем заключается не только в замене ручного труда, но и в достижении качественно иного уровня управления, который невозможно обеспечить при прямом воздействии оператора: повышение точности регулирования, увеличение быстродействия защиты в миллисекундных интервалах и обеспечение стабильности технологических процессов в условиях динамически меняющихся нагрузок. Современное промышленное оборудование требует точной настройки параметров, которую гарантируют только цифровые алгоритмы.

Структурная основа современной автоматизации базируется на ступенчатом взаимодействии устройств. Базовый уровень занимают программируемые логические контроллеры (ПЛК), выполняющие функции центрального управляющего звена. Они обрабатывают сигналы от датчиков обратной связи (температуры, давления, положения, скорости) и формируют управляющие команды. Силовая часть системы строится на частотных преобразователях или устройствах плавного пуска, которые регулируют обороты двигателей, обеспечивая экономию энергии и снижение механического износа. Непосредственное воздействие на оборудование осуществляют исполнительные устройства: электроприводы, клапаны, контакторы. В совокупности они образуют контуры управления (с обратной связью и без неё), задача которых — поддерживать процесс в рабочих параметрах, запускать оборудование без перегрузок и отключать его при выходе показателей за допустимые пределы.

По масштабу внедрения автоматизация подразделяется на три уровня. Частичная автоматизация охватывает отдельные операции: например, станок выполняет обработку, но загрузку заготовок производит оператор. Комплексная автоматизация распространяется на участок или цех, где оборудование работает по единой программе, синхронизируя действия без постоянного вмешательства человека. Полная автоматизация означает, что весь производственный цикл — от подачи сырья до отгрузки готовой продукции — проходит без участия персонала; при этом интеллектуальные системы управления способны анализировать внешние рыночные условия, состояние ресурсов и износ оборудования, принимая самостоятельные решения по оптимизации производства на уровне всего предприятия.

В условиях четвертой промышленной революции ключевым направлением становится цифровизация и внедрение систем диспетчерского управления и сбора данных (SCADA). Данные программные комплексы позволяют оператору в графическом интерфейсе наблюдать за состоянием оборудования удалённо [7]. Однако роль цифровых технологий сегодня не ограничивается визуализацией [1]. Глубокий анализ накопленных больших данных (Big Data)

даёт возможность внедрять стратегии предиктивного обслуживания [8]. Система заблаговременно предупреждает о возможном выходе узла из строя по косвенным признакам (микровибрации, отклонения в потреблении тока), предотвращая дорогостоящие простои и аварии до их фактического возникновения [8].

ГЛАВА 2 ИССЛЕДУЕМЫЙ ОБЪЕКТ И АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

2.1 Общая характеристика исследуемого объекта

Объектом исследования является дробеструйная установка проходного типа, применяемая в технологической цепочке производства автомобильных рессор. Основное функциональное назначение оборудования — очистка поверхности рессорных листов от окалины и коррозии, а также создание упрочнённого наклёпанного слоя (дробеструйное упрочнение), что критически важно для повышения усталостной прочности рессорных листов [9, 10]. На рисунке 2.1 изображена дробемётная установка.

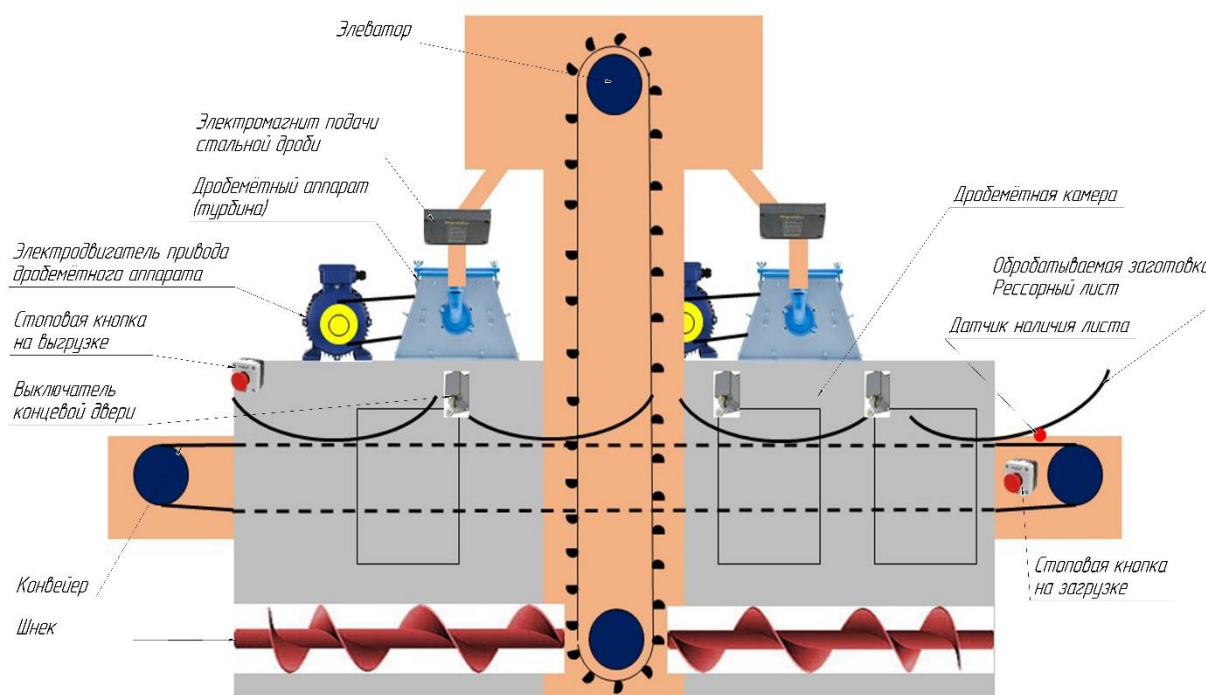


Рисунок 2.1 – Схематичное изображение элементов дробеметной установки

Конструктивно установка включает следующие узлы:

- дробемётная камера — рабочая зона, защищённая сменными элементами [12];
- две центробежных метательных колеса модели 4Б114 (турбины), установленные на камере [11];

— конвейер — транспортная лента, обеспечивающая перемещение рессорных листов через зону обработки [13];

— система рекуперации абразива — шнековый сборщик отработанной дробы, ковшовый элеватор и воздушный сепаратор [13];

— система подачи абразива — бункеры с пневматическими заслонками, регулируемыми поток дробы в турбины.

Управление процессом подачи дробы реализовано вручную: оператор открывает и закрывает пневматические заслонки в начале и в конце рабочей смены либо после обработки партии изделий. Автоматическая система мониторинга потока абразива и состояния турбин отсутствует [15, 16].

2.1.1 Технические характеристики турбин 4Б114

Основными рабочими органами установки являются дробемётные аппараты модели 4Б114 (рисунок 2.2). Данные турбины разгоняют стальную дробь до высоких скоростей за счёт центробежной силы [11].

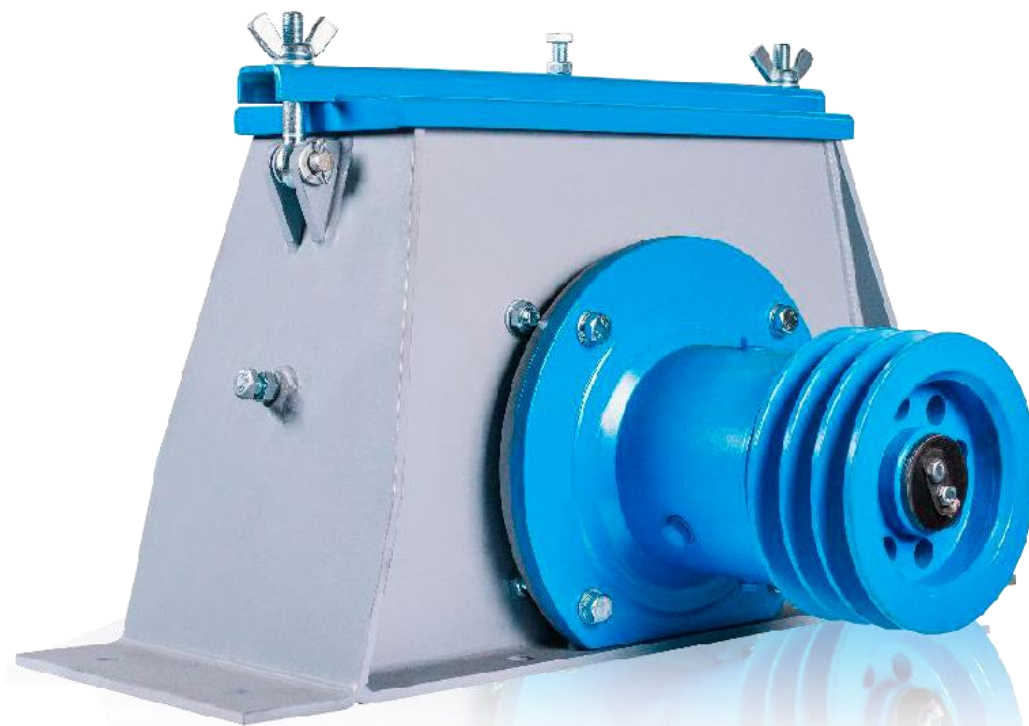


Рисунок 2.2 – Турбина 4Б114

Технические параметры дробемётных аппаратов, установленные заводом-изготовителем и подтверждённые паспортными данными, приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 - Технические характеристики турбины 4Б114

Параметр	Значение	Ед. измерения
Частота вращения турбины	2950	об/мин
Пропускная способность (поток дробы)	250	кг/мин
Скорость вылета дробы	80	м/с
Диаметр колеса турбины	300	мм
Мощность приводного двигателя	15-22	кВт
Тип передачи	Ременная	

Привод турбины выполнен электродвигателем мощностью 18,5 кВт через ременную передачу. Такая требует регулярного контроля натяжения ремней и состояния шкивов, однако в текущих условиях эксплуатации профилактика проводится редко. Из-за непрерывного режима работы [17].

2.1.2 Анализ режима эксплуатации и выявленные недостатки установки

В ходе производственного наблюдения установлено, что установка эксплуатируется в непрерывном режиме без плановых технологических остановок. Данный режим в сочетании с ручным управлением подачей дробы приводит к системным проблемам, влияющим на надежность оборудования.

По механическому износу выявлено следующее. Транспортёрная лента из-за постоянной работы без остановок для очистки и обслуживания подвергается интенсивному абразивному износу: окалина и дробь, накапливаясь на роликах и барабанах, действуют как абразивный инструмент, быстро перетирая резинокордное полотно. Острые кромки рессорных листов при плотной загрузке, способствуют механическим порезам и повреждениям ленты.

Зафиксированы частые случаи остановки турбин из-за механических заклиниваний. Причинами являются попадание в турбину крупных фрагментов окалины или обломков ковшей элеватора, перегрузка турбины избыточным потоком дробы при ручном открытии заслонок. А также отсутствие системы автоматической защиты от перегрузки по току.

Ковши элеватора и шнек работают в режиме постоянной перегрузки, что приводит к их ускоренному разрушению и необходимости частой замены.

Что касается человеческого фактора и управления процессом, ручное управление пневматическими заслонками создаёт зависимость качества обработки от внимательности оператора. Отсутствие автоматической дозировки приводит к нестабильности потока дробы, и при изменении плотности загрузки конвейера, оператор не всегда успевает скорректировать подачу абразива. Что ведёт либо к перерасходу дробы, либо к недоочистке изделий.

Влияние режима работы на качество продукции выражается в следующем. Для рессорного производства дробеструйная обработка является не просто очисткой, а операцией упрочнения (дробенаклёпа). Создание остаточных напряжений сжатия в поверхностном слое металла повышает предел выносливости детали.

В текущих условиях выявлены риски возникновения брака. Недостаточный дробенаклёп возникает, если в бункере заканчивается дробь или одна из двух турбин 4Б114 выходит из строя (заклинивает, останавливается двигатель). Тогда вторая турбина не способна обеспечить необходимую плотность потока для обработки всей поверхности рессоры, и изделия проходят через камеру с неполноценной обработкой.

Неравномерность обработки обусловлена износом лопаток турбины и скачками скорости вылета дробы (отклонения от паспортных 80 м/с). В результате поверхность рессор упрочняется пятнами, то есть вместо равномерного слоя на деталях остаются зоны с разной плотностью наклёпа, что напрямую влияет на качество. Отсутствие контроля в реальном времени приводит к тому,

что оборудование работает непрерывно, и оператор физически не может мгновенно остановить конвейер при сбое одной из турбин. Вследствие чего вся партия рессорных листов, прошедшая камеру в момент неисправности, уходит в брак или на повторную обработку, поскольку проверить каждую деталь в потоке невозможно.

2.2 Анализ существующей системы управления дробеструйной установки

На машиностроительных предприятиях автоматизация является не просто тенденцией, а необходимостью. В особенности это касается производства ответственных деталей, например автомобильных рессор. Для которых качество поверхностного упрочнения напрямую определяет ресурс и безопасность изделия, поэтому требования к стабильности процесса дробеструйной обработки являются жёсткими [18].

Дробеструйные установки широко применяются для очистки и упрочнения металлических деталей. Данное оборудование решает несколько задач: удаление окалины, остатков формовочных смесей и ржавчины. А также создание заданной шероховатости поверхности и формирование наклёпанного слоя [19].

Работа установки основана на разгоне стальной дроби турбинами: дробь вылетает с высокой скоростью и воздействует на деталь. За счёт этого возникает эффект дробенаклёпа — поверхностный слой металла уплотняется, что повышает усталостную прочность детали. По данным исследований, прирост ресурса прочности может составлять 20–40% [20]. Однако, несмотря на технологическую эффективность самого процесса, качество его реализации напрямую зависит от системы управления оборудованием.

При ручном или полуавтоматическом управлении оборудование часто работает нестабильно из-за человеческого фактора и ограниченных возможностей операторов по контролю множества параметров в реальном времени. Воз-

никает неравномерность обработки поверхности, что ведёт к локальному перерасходу абразивного материала и электроэнергии. Кроме того, неправильные режимы работы, увеличивают износ узлов установки (подшипники турбин, лопасти,), что влечёт преждевременные поломки оборудования [21]. Соответственно, неисправное или неэффективно работающее оборудование приводит к незапланированным простоям, росту себестоимости единицы продукции и снижению общей производительности предприятия.

Опыт эксплуатации старых систем управления на отечественных предприятиях показывает, что они зачастую построены на устаревшей элементной базе — контактно-релейных схемах, магнитных пускателях и механических блокировках. Такие системы не обеспечивают необходимой надёжности и гибкости управления. Контакты реле подвержены окислению и подгоранию, что приводит к ложным срабатываниям или отказам в запуске двигателей. Поиск подобных неисправностей занимает много времени и требует участия высококвалифицированных специалистов, поскольку штатные средства самодиагностики и архивирования аварийных сигналов не предусмотрены [22].

Отсутствие световой сигнализации, автоматизированных алгоритмов управления усложняет эксплуатацию, повышая вероятность ошибок персонала. В ручном режиме оператор вынужден самостоятельно контролировать последовательность пуска агрегатов. Нарушение этой последовательности (например, частичный запуск оборудования) приводит к заклиниванию ленты элеватора, обрыву цепи шнека и длительным простоям. Кроме того, функционирование неполного состава турбин нарушает технологию дробенаклёпа, что снижает качество обработки и ведёт к браку всей партии рессорных листов [23].

Отдельного внимания требует вопрос промышленной безопасности. Несанкционированный пуск оборудования во время сервисных работ создаёт прямую угрозу жизни персонала. В устаревших системах отсутствуют блокировки доступа в рабочую камеру и защиты от запуска при открытых дверях,

требуемые действующими стандартами охраны труда [20]. Внедрение программируемых логических контроллеров (ПЛК) позволяет внедрить многоуровневую систему защиты, исключая влияние человеческого фактора при работе в опасных зонах.

Таким образом, автоматизация системы управления является необходимым условием для обеспечения безаварийной работы и соблюдения норм безопасности. Текущее состояние электрооборудования в шкафах управления дробебетных установок показано на рисунке 2.3, а текущая принципиальная схема — на рисунке 2.4.



а)



б)

Рисунок 2.3 – Текущее состояние электрооборудования.

а) – кнопки управления, б) – релейная аппаратура

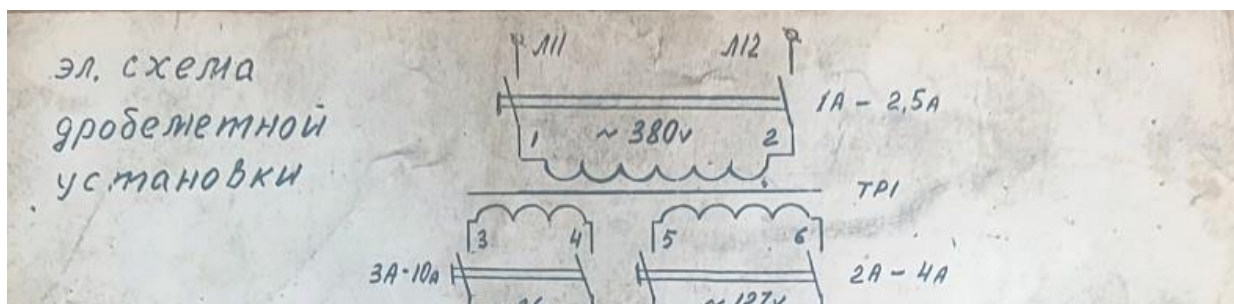


Рисунок 2.4 – Существующая принципиальная
электрическая схема дробемётной установки

Проведённый анализ дробемётной установки и её системы управления позволил выявить основные недостатки, снижающие эффективность производства. Устаревшая элементная база, высокая зависимость от человеческого фактора и недостаточный уровень промышленной безопасности, создают существенные риски как для качества выпускаемых автомобильных рессор, так и для персонала предприятия. Нестабильность технологического режима при ручном управлении ведёт к перерасходу ресурсов и снижению усталостной прочности изделий.

Выявленные недостатки однозначно указывают на необходимость перехода от релейно-контактного управления к микропроцессорным системам. Внедрение автоматизированного контроля параметров процесса позволит устранить неравномерность обработки, снизить энергопотребление за счёт оптимизации циклов и исключить аварийные ситуации, связанные с неправильной последовательностью запуска агрегатов.

На основании проведённых теоретических исследований и обоснования целесообразности модернизации в следующей главе представлен проект автоматизации, в котором разработана принципиальная схема системы управления, выбраны технические средства (программируемый логический контроллер, датчики обратной связи, исполнительные механизмы) и составлены алгоритмы работы, обеспечивающие бесперебойную, безопасную эксплуатацию установки.

2.3 Выбор контроллера

На основании техническим данным автоматизации объекта, сформулированы требования к выбираемому программируемому логическому контроллеру (ПЛК). Контроллер должен обеспечивать сбор информации с датчиков, реализацию алгоритмов управления и коммутацию исполнительных механизмов.

Основные технические требования к аппаратной части:

- дискретные входы (DI) — не менее 15 каналов для подключения кнопок, конечных выключателей и датчиков положения;
- дискретные выходы (DO) — не менее 12 каналов для управления пускателями, клапанами и сигнальными лампами;
- аналоговые входы (AI) — не менее 2 каналов для подключения датчиков тока 4–20 мА или 0–10 В;
- аналоговые выходы (АО) — не менее 2 каналов для управления регулирующими клапанами.
- По типу коммутации силовых цепей для ряда технологических операций требуется использование тиристорных (бесконтактных) выходов для обеспечения быстродействия и ресурса при коммутации активной нагрузки.
- По интерфейсу оператора необходима возможность подключения панели оператора (HMI) для визуализации процесса и задания уставок.

Эксплуатационные требования включают совместимость с существующим оборудованием на предприятии и доступность запасных частей.

2.3.1 Обзор рассматриваемых вариантов

Для поставленных требований были отобраны три варианта построения системы управления на базе оборудования, широко представленного на рынке РФ:

Siemens LOGO! 8 Модульная система логических модулей, которая при использовании модулей расширения способна решать задачи малого ПЛК. Контроллер изображён на рисунке 2.5.



Рисунок 2.5 – Модульная сборка Siemens LOGO! 8

ОВЕН ПЛК110 Российский программируемый контроллер, позиционируемый как аналог зарубежных систем среднего уровня, изображён на рисунке 2.6.



Рисунок 2.6 – Контроллер ОВЕН ПЛК110

ЕКФ PROXIMA PLE Программируемое логическое реле с возможностью расширения. Бюджетное решение отечественного производства, изображено на рисунке 2.7.



Рисунок 2.7 – Программируемое реле EKF PRO-Relay

1. По варианту на базе Siemens LOGO! 8 базовым устройством выбирается модуль LOGO! 8 24/24CE.

Конфигурация I/O: базовый модуль предоставляет 8 входов и 4 выхода. Для достижения требуемых 15 входов и 12 выходов необходимо использовать модули расширения, два модуля DM8 24C. Для получения двух аналоговых входов и выходов требуется установка специализированных модулей AM2 AQ.

По тиристорным выходам базовые модули LOGO! оснащены транзисторными выходами. Для выполнения требования по тиристорной коммутации предусматривается использование внешних твердотельных реле (SSR),

управляемых дискретными выходами контроллера. Панель оператора поддерживается через панели серии Siemens LOGO! TD по протоколу Profinet или Ethernet.

2. По варианту на базе ОВЕН ПЛК110 рассматривается контроллер ОВЕН ПЛК110-60 (или аналогичный по количеству портов).

Конфигурация I/O: имеет достаточное количество встроенных входов и выходов, что позволяет избежать использования дополнительных модулей расширения для данной задачи.

По аналоговым сигналам требуется проверка конкретной модификации на наличие встроенных аналоговых выходов либо установка модулей ввода-вывода MB110.

Панель оператора работает в связке с панелями ОВЕН ИП320 или ИП420 через интерфейс RS-485 или Ethernet. Особенности: программирование в среде CoDeSys.

3. По варианту на базе EKF PROXIMA система строится на реле EKF PROXIMA PLE с модулями расширения.

Конфигурация I/O требует сборки конструктора из базового блока и нескольких модулей расширения для достижения 15 входов и 12 выходов.

Аналоговые сигналы поддерживаются через специализированные модули.

Панель оператора поддерживает подключение текстовых и графических дисплеев EKF.

2.3.2 Сравнительный анализ вариантов контроллеров

Сравнение проводилось по критериям технического соответствия, и интеграционной совместимости. Данные сведены в таблицу 2.2.

Таблица 2.2 — Сравнительная характеристика вариантов системы управления

Критерий	Siemens LOGO! 8 + модули	ОВЕН ПЛК110 + Модули	EKF PROXIMA + Модули
Дискретные входы	20 (Базовый + 2xDM8)	20 (Встроенные + MB110)	20 (Базовый + расширения)
Дискретные выходы	12 (Реле/Транзистор)	12 (Реле/Транзистор)	12 (Реле/Транзистор)
Аналоговые входы/выхода	4 AL / 2 АО (с модулем AM2)	2 AL / 2 АО (зависит от модуля)	2 AL / 2 АО (с модулями)
Реализация тиристорных выходов	Внешние SSR (твердотельные реле)	Внешние SSR или специальные модули	Внешние SSR
Панель оператора	Siemens LOGO TD!	ОВЕН ИП	EKF
Среда программирования	LOGO! Soft Comfort (FBD/LAD)	OWEN Studio (CoDeSys)	EKF Configurator
Наличие на складе предприятия	Полная комплектация	Отсутствует	Отсутствует
Квалификация персонала	Персонал обучен	Требуется переобучение	Требуется переобучение
Стоимость оборудования (оцен.)	Высокая	Средняя	Низкая
Стоимость внедрения	Минимальная	Средняя	Средняя

Анализ таблицы 2.2 и условий эксплуатации позволяет сделать следующие выводы.

По технической реализации выходов, ни один из рассматриваемых контроллеров в базовой комплектации не имеет встроенных тиристорных выходов на требуемое количество каналов. Что является стандартной практикой для ПЛК малого и среднего класса. В связи с этим для всех трёх вариантов принимается одинаковое техническое решение: использование внешних блоков твердотельных реле (SSR), управляемых дискретными выходами контроллера. Что показывает отсутствие технического преимущества какого-либо одного контроллера в данном аспекте.

По масштабируемости и количеству входов/выходов для достижения требуемых 15 дискретных входов и 12 выходов, система на базе LOGO! требует использования модулей расширения. Хотя контроллер ОВЕН ПЛК110 может предложить больше встроенных портов в одном корпусе, модульная структура LOGO! позволяет гибко размещать оборудование в шкафу автоматизации. По внедрению с панелью оператора, система Siemens LOGO! совместно с LOGO! TD обеспечивает наиболее современную связь по протоколу Ethernet/Profinet. Что позволяет реализовать удалённый мониторинг и быструю передачу данных. Панели ОВЕН и EKF также поддерживают Ethernet.

LOGO! TD в рамках данного класса оборудования обладает более широкими возможностями визуализации.

Ключевым фактором стала организационная целесообразность. Несмотря на то, что стоимость оборудования ОВЕН и ЕКФ ниже, а продукция является отечественной, для данного предприятия решающим фактором выступает унификация парка оборудования. По наличию комплектующих на складе предприятия имеется запас базовых модулей LOGO! 8, модулей расширения (DM8, AM2) и панелей оператора LOGO TD. Что исключает сроки поставки и позволяет приступить к монтажу немедленно.

По квалификации персонала, инженерно-технические работники предприятия уже прошли обучение работе со средой LOGO! Soft Comfort и имеют опыт обслуживания данных контроллеров. Внедрение оборудования ОВЕН или ЕКФ потребовало бы затрат времени и средств на переобучение сотрудников и изучение новой документации.

По ремонтпригодности в случае выхода из строя узла замена производится из складского запаса (hot swap), что минимизирует простой технологической линии.

По надёжности контроллеры Siemens LOGO! зарекомендовали себя как устройства с высоким ресурсом наработки на отказ в условиях данного производства. Таким образом, выбор в пользу Siemens LOGO! продиктован не только техническими характеристиками, но и стратегией поддержки жизненного цикла системы на конкретном предприятии.

На основании проведённого выбора для реализации проекта принята следующая конфигурация аппаратных средств:

— контроллер Siemens LOGO! 8 24/24CE (базовый модуль, 24В DC, 4); модули расширения дискретные — 2 шт. LOGO! DM8 24/8C для достижения суммарно 15 входов и 12 выходов; модули расширения аналоговых входов и выходов — 2 шт. LOGO! AM2 AQ.

— Силовая коммутация — блок твердотельных реле (SSR) на 24В DC управления и 220В AC коммутации для реализации требования по тиристорным выходам на критичных нагрузках.

— Панель оператора — Siemens LOGO! TD с подключением по Profinet.

— Программное обеспечение — лицензия LOGO! Soft Comfort V8.2.

2.4 Выбор устройства плавного пуска для электропривода турбины

В системе электропривода турбинного агрегата, ключевым элементом обеспечения надёжности является система запуска. Прямой пуск асинхронного двигателя мощностью 18,5 кВт сопряжён с двумя основными группами негативных факторов.

1. Высокие пусковые токи: кратность пускового тока может достигать 6–7 кратного значения от номинального. Что создаёт просадки напряжения в питающей сети и увеличивает нагрузку на кабельные линии.

2. Механические удары: резкий набор крутящего момента при прямом пуске вызывает динамические нагрузки на вал двигателя, муфты и рабочие колёса турбины, что сокращает ресурс механической части.

Для минимизации данных рисков принято решение об установке устройства плавного пуска (УПП). УПП позволяет ограничить пусковой ток и обеспечить плавное нарастание крутящего момента, снижая износ оборудования.

2.4.1 Расчёт основных параметров устройства плавного пуска

Выбор устройства плавного пуска производится на основании паспортных данных основного исполнительного механизма — асинхронного электродвигателя серии АИР.

— Тип двигателя: АИР (асинхронный, короткозамкнутый, общепромышленный).

— Номинальная мощность: $P_{\text{ном}} = 18,5 \text{ кВт}$.

- Номинальное напряжение: $U_{\text{ном}} = 380 \text{ В}$.
- Частота вращения: $n_{\text{ном}} = 1500 \text{ об/мин}$.
- Число полюсов: $2p = 4$.
- Коэффициент мощности: $\cos\varphi = 0,87$ (справочные данные для серии АИР).
- Коэффициент полезного действия: $\eta = 0,91$ (справочные данные).
- Кратность пускового тока: $k_{\text{п}} = 7,0$ (по паспортным данным 6,5–7,5).

Расчет номинального тока двигателя выполняется по формуле (1):

$$I_{\text{ном}} = \frac{P_{\text{ном}} \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}} \cdot \eta \cdot \cos\varphi} = \frac{18,5 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,91 \cdot 0,87} = 35,6 \text{ А}, \quad (1)$$

где, $P_{\text{ном}}$ — номинальная мощность двигателя, кВт;

$U_{\text{ном}}$ — номинальное линейное напряжение, В;

η — коэффициент полезного действия;

$\cos\varphi$ — коэффициент мощности.

Расчет пускового тока при прямом пуске:

$$I_{\text{п}} = k_{\text{п}} \cdot I_{\text{ном}} = 7,0 \cdot 35,6 = 249,2 \text{ А}. \quad (2)$$

Такая величина пускового тока недопустима для прямой коммутации, так как вызывает:

- просадку напряжения в питающей сети более 15 %;
- механические удары в трансмиссии турбины;
- ускоренный износ изоляции обмоток.

Требуемый номинальный ток УПП определяется с учетом коэффициента запаса $k_{\text{зап}}$ для инерционных нагрузок (турбины):

$$I_{\text{УПП}} \geq I_{\text{ном}} \cdot k_{\text{зап}}, \quad (3)$$

где $k_{\text{зап}}=1,2\dots1,3$ — коэффициент запаса для тяжелых условий пуска,

Принимаем $k_{\text{зап}}=1,25$:

$$I_{\text{УПП}} \geq 35,6 \cdot 1,25 = 44,5 \text{ А.}$$

Следовательно, устройство плавного пуска должно иметь номинальный ток не менее 45 А., при напряжении 380 В.

2.4.2 Исходные данные и подбор оборудования

Для выбора устройства плавного пуска (УПП) сформулированы технические требования, приведённые в таблице 2.3.

Таблица 2.3 — Сравнительная характеристика вариантов системы управления

Параметр	Значение	Обоснование
Номинальное напряжение	380 В, 50 Гц	Соответствие питающей сети
Номинальный ток	$\geq 45 \text{ А}$	Расчет по формуле
Мощность двигателя	18,5–22 кВт	Запас по мощности для инерционной нагрузки
Наличие байпасного контактора	Обязательно	Снижение тепловыделения в рабочем режиме
Диапазон регулировки тока ограничения	20–100 % $I_{\text{ном}}/I_{\text{ном}}$	Точная настройка под конкретный двигатель
Время разгона	5–30 с (регулируемое)	Плавный набор скорости турбиной
Класс защиты	Не ниже IP20	Для установки в шкаф управления
Управление	Дискретные входы/выходы, 24 В	Интеграция с ПЛК

На основании этих требований отобраны три устройства мощностью 22 кВт:

1. Веспер DMS-030H 22 кВт, 380 В (Россия);
2. Siemens SIRIUS 3RW4036-1BB04 (Германия);
3. Instart INSTART SBI-22/43-04 22 кВт, 380 В (КНР, международный бренд).

Устройство Веспер DMS-030H изображено на рисунке 2.8.



Рисунок 2.8 – Устройство плавного пуска Веспер ДМС-030Н 22кВт 380В

Технические характеристики:

- номинальный ток 45 А в режиме АС-53b,
- напряжение 200–480 В переменного тока,
- встроенный байпас опционально (требуется внешний контактор),
- регулировка тока ограничения 20–80% от номинального,
- интерфейс — потенциометры на корпусе.

Преимущества данного устройства: адаптация под российские стандарты, доступность сервисной поддержки, низкая стоимость.

Недостатки: отсутствие встроенного байпаса в базовой комплектации увеличивает габариты шкафа, ограниченный диапазон настройки тока ограничения.

Устройство Siemens 3RW4036 изображено на рисунке 2.9.



Рисунок 2.9 – Устройство плавного пуска 3RW4036

Технические характеристики:

- номинальный ток 43 А в режиме AC-53b,
- напряжение 200–480 В переменного тока,
- встроенный байпас отсутствует (требуется внешний контактор 3RW4900-0V),
- регулировка тока ограничения 20–100% от номинального,
- интерфейс — потенциометры с возможностью подключения модуля коммуникации.

Преимущества Siemens: высокая надёжность и качество компонентов, широкий диапазон настроек, сертификаты международных стандартов.

Недостатки: отсутствие встроенного байпаса требует дополнительного места и затрат, увеличенные сроки поставки и высокая стоимость в текущих условиях, сложности с официальным гарантийным обслуживанием.

Устройство Instart SBI-22/43-04 изображено на рисунке 2.10



Рисунок 2.10 – Устройство плавного пуска INSTART SBI-22/43-04 22 кВт

Технические характеристики:

- номинальный ток 43 А в режиме АС-53b,
- напряжение 380 В $\pm 15\%$, 50/60 Гц,
- встроенный байпас имеется,
- регулировка тока ограничения 30–100% от номинального,
- время разгона регулируется от 1 до 30 с,
- защита от перегрузки, обрыва фазы и перегрева тиристоров,
- интерфейс — дискретные входы и выходы, светодиодная индикация.

Преимущества Instart: наличие встроенного байпасного контактора исключает тепловыделение в рабочем режиме. Компактное исполнение (ширина 90 мм). Полное соответствие расчётным параметрам ($I_{УПП} = 43$ А) удовлетворяет условию с учётом допустимой перегрузки в режиме пуска. Доступность на складе поставщиков, оптимальное соотношение цены и функциональности.

Недостаток — меньшая известность бренда по сравнению с Siemens, что компенсируется положительными отзывами в отраслевых проектах.

Требуемые характеристики УПП сведены в таблицу 2.4.

Таблица 2.4 — Сравнительные характеристики устройств плавного пуска

Параметр	Веспер DMS-030H	Siemens 3RW4036	Instart SBI-22/43-04
Номинальная мощность	22 кВт	22 кВт	22 кВт
Номинальный ток (AC-53b)	45 А	43 А	43 А
Напряжение питания	200–480 В	200–480 В	380 В ± 15 %
Встроенный байпас	Нет (опция)	Нет (требуется внешний)	Да
Диапазон $I_{огр}/I_{огр}$	20–80 % $I_{ном}$	20–100 % $I_{ном}$	30–100 % $I_{ном}$
Время разгона	2–30 с	0–20 с	1–30 с
Защита	КЗ*, перегрузка, обрыв фазы	КЗ*, перегрузка, обрыв фазы	КЗ*, перегрузка, обрыв фазы, перегрев
Управление	Потенциометры	Потенциометры	Потенциометры + дискретные входы
Габариты (Ш×В×Г), мм	105×180×150	100×160×140	90×170×135
Класс защиты	IP20	IP20	IP20
Средняя стоимость, руб.	~18 000	~45 000	~22 000
Срок поставки	1–2 недели	4–8 недель	1–2 недели
Гарантия	24 мес.	12 мес. (с ограничениями)	24 мес.

*Примечание: Защита от КЗ обеспечивается внешним автоматическим выключателем, устанавливаемым в цепи питания УПП.

На основании проведённого анализа и расчётов для электропривода турбины выбрано устройство плавного пуска Instart SBI-22/43-04.

Ключевые аргументы выбора:

1. Техническое соответствие. Номинальный ток устройства (43 А) удовлетворяет условию с учётом допустимой кратковременной перегрузки в режиме пуска, характерной для УПП. А мощность 22 кВт обеспечивает необходимый запас для инерционной нагрузки турбины.

2. Наличие встроенного байпаса. После завершения разгона байпасный контактор шунтирует силовые тиристоры, что исключает тепловыделение (до 15–20 Вт на фазу в рабочем режиме). Позволяет установить УПП в шкаф без принудительной вентиляции и повышает надёжность за счёт снижения тепловой нагрузки на полупроводниковые элементы.

3. Экономическая эффективность. Стоимость Instart в два раза ниже аналога от Siemens при сопоставимом функционале. Экономия усиливается отсутствием необходимости покупки внешнего байпасного контактора.

4. Функциональная достаточность. Все необходимые настройки (ток ограничения, время разгона, чувствительность к перегрузке) реализованы через внутреннее программное обеспечение. Что упрощает ввод в эксплуатацию без использования дополнительного программного обеспечения.

Проверка выбранного решения:

Проверочный расчет теплового режима УПП в рабочем режиме с учетом байпаса.

Мощность потерь на тиристорах без байпаса

$$P_{\text{пот}} = 3 * U_{\text{пад}} * I_{\text{ном}}, \quad (4)$$

где $U_{\text{пад}} \approx 1,5$ В — падение напряжения на одном тиристоре.

$$P_{\text{пот}} = 3 * 1,5 * 35,6 = 160,2 \text{ Вт.}$$

При наличии встроенного байпаса ток в рабочем режиме протекает через контактор, и потери снижаются до:

$$P_{\text{пот.байпас}} = 3 * I_{\text{ном}}^2 * R_{\text{к}}, \quad (5)$$

где $R_{\text{к}} \approx 0,5$ мОм — сопротивление контактов байпаса.

$$P_{\text{пот.байпас}} = 3 * 35,6^2 * 0,0005 \approx 1,9 \text{ Вт.}$$

Таким образом, использование УПП со встроенным байпасом снижает тепловыделение в шкафу управления более чем в 80 раз, что подтверждает правильность выбора.

2.5 Выбор регулирующего клапана для дозирования дробы с аналоговым управлением

В системе автоматизации дробемётной установки требуется реализовать узел плавного регулирования подачи стальной дробы. Ключевым требованием является возможность управления исполнительным механизмом от аналогового выхода ПЛК сигналом 0–10 В. Что позволит обеспечить точное дозирование абразива в зависимости от режима обработки.

Исходные данные:

- тип среды — дробь стальная колотая,
- фракция 0,8–1,2 мм;
- насыпная плотность $\rho_H = 4200 \text{ кг/м}^3$;
- максимальная производительность $Q_{\text{макс}} = 120 \text{ кг/мин}$;
- диапазон регулирования от 10 до 100% от $Q_{\text{макс}}$;
- сигнал управления $U_{\text{упр}} = 0\text{--}10 \text{ В}$ постоянного тока;
- напряжение питания $24 \text{ В} \pm 10\%$;
- точность поддержания расхода $\delta_Q \leq \pm 3\%$;
- время полного хода $t_x \leq 2 \text{ с}$.

2.5.1 Расчёт основных параметров исполнительного механизма

Определение требуемого условного прохода.

Массовый расход сыпучего материала через регулирующее сечение описывается зависимостью:

$$Q = \mu * F * \rho_H * \sqrt{2 * g * H}, \quad (6)$$

где:

- Q — массовый расход, кг/с;

- $\mu=0,70$ — коэффициент расхода для стальной дроби;
- F — площадь проходного сечения, м^2 ;
- $g=9,81 \text{ м/с}^2$ — ускорение свободного падения;
- $H=0,9 \text{ м}$ — высота столба материала над клапаном.

Максимальный расход в расчётных единицах:

$$Q_{\text{макс}}=120/60=2,0 \text{ кг/с.} \quad (7)$$

Преобразуя формулу (6), определим требуемую площадь сечения:

$$F_{\text{тр}} = \frac{Q_{\text{макс}}}{\mu * F * \rho_H * \sqrt{2 * g * H}} \approx 1,62 * 10^{-4} \text{ м}^2. \quad (8)$$

Требуемый диаметр:

$$D_{\text{экв}} = \sqrt{\frac{4 * F_{\text{тр}}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 * 0,000162}{3,14}} \approx 14,4 \text{ мм.} \quad (9)$$

С учётом запаса на износ от потока стальной дроби принимаем условный проход по диаметрам трубопровода $D_y=25 \text{ мм}$.

2.5.2 Выбор исполнительных механизмов

Первый вариант — регулирующий клапан MagnaValve с пропорциональным управлением (рисунок 2.11).



Рисунок 2.11 – Регулирующий клапан MagnaValve

Это электромагнитный клапан для сыпучих материалов со встроенным пропорциональным приводом. Принцип действия: постоянный магнит обеспечивает нормально закрытое состояние клапана. Без подачи питания дробь удерживается магнитным полем и не течёт. Электромагнит внутри клапана создаёт противодействующее магнитное поле при подаче управляющего сигнала, которое нейтрализует часть поля постоянного магнита. Ослабляя удерживающую силу. Когда мощность электромагнита достигает определённого уровня, магнитное удержание ослабевает настолько, что дробь начинает свободно проходить через клапан.

Пример модели — MagnaValve 24 HT:

- условный проход Ду 25 мм,
- управление аналоговое 0–10 В с входным сопротивлением 10 кОм,
- питание 24 В постоянного тока,

- время полного хода 0,5–1,5 с,
- материал проточной части — износостойкая сталь Hardox 450,
- класс защиты IP65.

Преимущества данного варианта: прямое подключение к аналоговому выходу ПЛК без дополнительных преобразователей. Высокое быстродействие, необходимое для точного дозирования. Компактность и простота монтажа. Отсутствие необходимости в системе сжатого воздуха. Специализированная конструкция для абразивных сред.

Второй вариант — пневматическая заслонка с электропневмопозиционером (рисунок 2.12).



Рисунок 2.12 – Позиционер SIPART PS2

Это комплексное решение на базе пневматического привода и позиционера. Принцип работы: электропневматический позиционер преобразует сигнал 0–10 В в пропорциональное давление воздуха. Которое подаётся в пневмоцилиндр, перемещающий заслонку.

Параметры:

- условный проход Ду 25 мм,
- управление 0–10 В,
- время хода 3–5 с,
- требуется система подготовки сжатого воздуха.

Недостатки для данной задачи: необходимость в инфраструктуре сжатого воздуха (дополнительные затраты). Меньшее быстродействие из-за инерционности пневмосистемы. Большие габариты и сложность монтажа. Риск загрязнения пневмолиний абразивной пылью.

Третий вариант — ручная заслонка (рисунок 2.13), механическое устройство, управляемое оператором.



Рисунок 2.13 – Ручная заслонка

Её недостаток — принципиальная невозможность автоматического регулирования по сигналу 0–10 В.

Сравнительный анализ вариантов исполнительных механизмов представлен в таблице 2.5.

Таблица 2.5 — Сравнительная характеристика исполнительных механизмов

Критерий	Magna Valve 24 НТ	Пневматическая заслонка + ЕПП	Ручная заслонка
Поддержка сигнала 0–10 В	Да (прямое подключение)	Да (через ЕПП)	Нет
Характер регулирования	Плавный, пропорциональный	Плавный, пропорциональный	Ступенчатый
Быстродействие (полный ход)	0,5–1,5 с	3–5 с	> 5 с (ручное)
Точность позиционирования	±1,5 %	±1,0 %	±15 % (субъективно)
Интеграция с АСУ ТП	Прямая (24 В, 0–10 В)	Через ЕПП	Невозможна
Требуемая инфраструктура	Только электросеть 24 В	Сжатый воздух + электричество	Отсутствует
Габариты (ориентировочно)	120×80×200 мм	250×150×300 мм	150×100×150 мм
Эксплуатационные расходы	Минимальные	Затраты на сжатый воздух	Минимальные

На основании проведённых расчётов и сравнительного анализа для системы плавного регулирования подачи стальной дробы выбран пропорциональный электромагнитный клапан MagnaValve 24 НТ с аналоговым управлением 0–10 В.

Ключевые аргументы выбора.

Полное соответствие требованию аналогового управления. Клапан MagnaValve 24 НТ обеспечивает прямое преобразование сигнала 0–10 В в положение запорного элемента, без дополнительных преобразователей или пневматической обвязки.

Оптимальное быстродействие. Время полного хода 0,5–1,5 секунды позволяет реализовать точные алгоритмы дозирования и быстро реагировать на изменения технологического процесса. Что критически важно для поддержания качества дробемётной обработки.

Эффективность. Отсутствие необходимости в сжатом воздухе снижает капитальные затраты на монтаж и эксплуатационные расходы на обслуживание компрессорного оборудования.

Компактность и простота внедрения. Один компактный блок заменяет комплекс оборудования (заслонка, привод, позиционер, блок подготовки воздуха). Что упрощает компоновку шкафа управления.

Специализация для абразивных сред. Конструкция модели 24 НТ разработана для работы со стальными дробями, включает износостойкие материалы проточной части. Имеет защиту механизма привода от пыли и возможность быстрой замены изнашиваемых элементов.

2.6 Выбор трансформаторов тока для контроля работы электроприводов турбин

Для обеспечения надёжной эксплуатации и диагностики электроприводов турбинных агрегатов требуется организовать систему контроля потребляемого тока двигателей. Измерение тока позволяет контролировать загрузку двигателя в реальном времени. Выявлять аварийные режимы (перегрузка, обрыв фазы, заклинивание). Формировать сигналы обратной связи для системы АСУ ТП.

В качестве датчиков тока выбраны измерительные трансформаторы с гальванической развязкой и унифицированным выходным сигналом 4–20 мА. С совместимым с аналоговыми входами программируемого логического контроллера (ПЛК).

Исходные данные для выбора:

- тип двигателя АИР 18,5 кВт, 380 В, 1500 об/мин;
- номинальный ток двигателя $I_{\text{ном}} \approx 35,6$ А;
- пусковой ток $I_{\text{п}} \approx 249$ А (кратность $k_{\text{п}} = 7$);
- напряжение сети 3×380 В, 50 Гц;
- требуемый выходной сигнал $I_{\text{вых}} = 4\text{--}20$ мА;
- напряжение питания датчика 24 В постоянного тока;
- класс точности измерений не хуже 1,0;
- гальваническая развязка обязательна;
- условия эксплуатации — промышленное помещение, температура 0...+50 °С.

2.6.1 Выбор диапазона измерения

Для обеспечения возможности измерения как номинального, так и пускового тока, верхний предел измерения трансформатора тока должен удовлетворять условию:

$$I_{\text{изм.макс}} \geq k_z \cdot I_{\text{п}}, \quad (10)$$

где $k_z=1,1 \dots 1,2$ — коэффициент запаса для учёта возможных перегрузок.

Принимая $k_z=1,15$:

$$I_{\text{изм.макс}} \geq 1,15 \cdot 249 \approx 286 \text{ А}. \quad (11)$$

Стандартный ряд номинальных первичных токов по ГОСТ 7746-2015 включает значения: 100, 150, 200, 300, 400 А. Ближайшее большее значение — 300 А.

Расчёт нагрузки вторичной цепи

Для корректной работы источника тока 4–20 мА необходимо обеспечить допустимую нагрузку во вторичной цепи. Максимальное сопротивление нагрузки определяется по формуле:

$$R_{\text{н.макс}} = \frac{U_{\text{пит}} - U_{\text{мин}}}{I_{\text{макс}}} = \frac{24 - 6}{0,02} = 900 \text{ Ом}, \quad (12)$$

где: $U_{\text{пит}}=24 \text{ В}$ — напряжение питания датчика;

$U_{\text{мин}}=6 \text{ В}$ — минимальное падение напряжения на выходном каскаде датчика (по паспортным данным);

$I_{\text{макс}}=20 \text{ мА} = 0,02 \text{ А}$ — максимальный выходной ток.

Типовое сопротивление аналогового входа ПЛК составляет $R_{\text{вх}}=50 \dots 250 \text{ Ом}$, сопротивление соединительных проводов (при длине до 100 м и сечении $0,75 \text{ мм}^2$) — $R_{\text{пров}} \approx 5 \text{ Ом}$.

Суммарное сопротивление нагрузки:

$$R_H = R_{BX} + R_{\text{пров}} \approx 250 + 5 = 255 \text{ Ом} < 900 \text{ Ом}. \quad (13)$$

Условие согласования нагрузки выполняется с запасом.

2.6.2 Анализ вариантов трансформаторов тока

Рассмотрены три варианта трансформаторов тока.

Первый вариант — преобразователь тока Seneca T201D300 (рисунок 2.14).



Рисунок 2.14 – Преобразователь тока Seneca T201D300

Это измерительный преобразователь с гальванической развязкой для контроля тока в промышленных сетях.

Технические характеристики:

- диапазон измерения первичного тока 0–300 А,
- выходной сигнал 4–20 мА (программируемый),
- питание 20–30 В постоянного тока,
- класс точности 0,5%,
- гальваническая развязка 3 кВ (вход/выход/питание),
- постоянная времени 50 мс, монтаж на DIN-рейку 35 мм,
- рабочая температура от –20 до +60 °С,
- класс защиты корпуса IP20.

Преимущества. Высокая точность (класс 0,5). Тройная гальваническая развязка. Программируемый диапазон и характеристика выхода. Компактное исполнение в модульном корпусе. Широкий температурный диапазон.

Второй вариант — разъемный преобразователь тока ПИТ-500-ТР-4/20-Б50-М (рисунок 2.15).



Рисунок 2.15 – Разъемный преобразователь тока ПИТ

Это измерительный датчик переменного тока с разъемным магнитопроводом типа «клещи». Предназначенный для установки без разрыва силовой цепи. Производится российскими предприятиями.

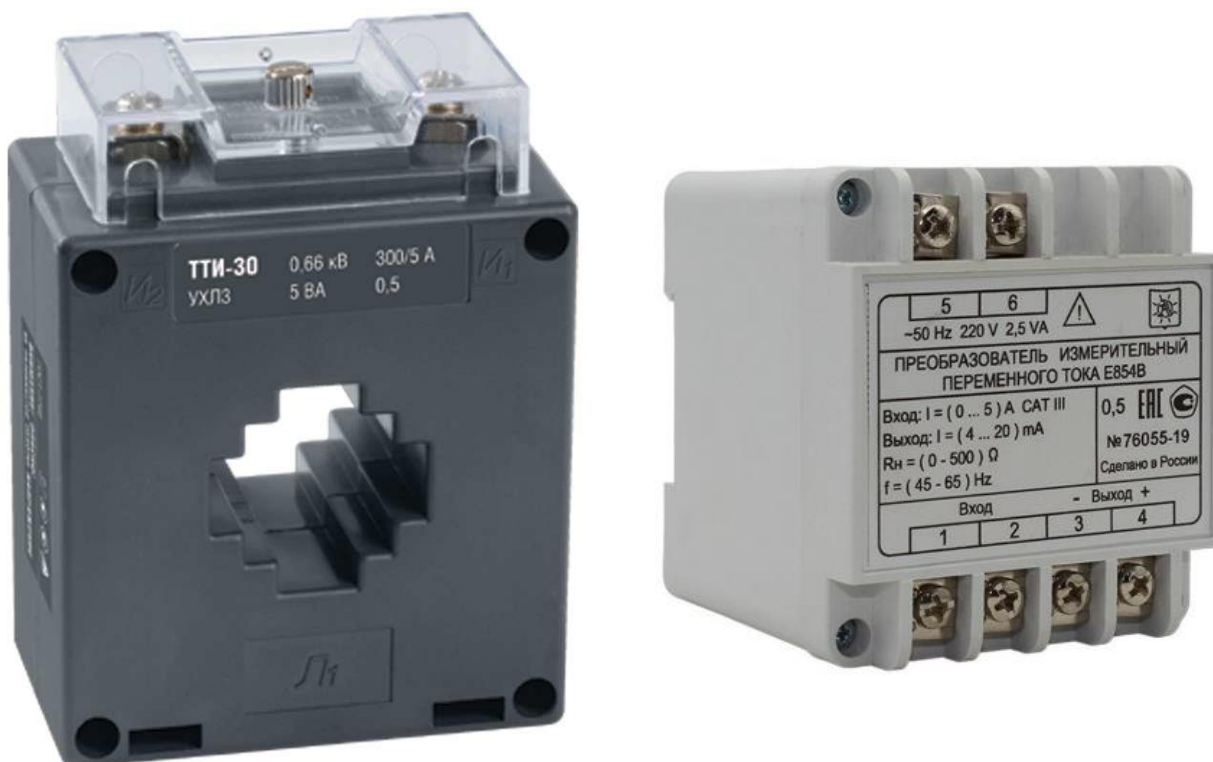
Технические характеристики:

- диапазон измерения 0–500 А (фиксированный),
- выходной сигнал 4–20 мА,
- питание 24 В постоянного тока $\pm 10\%$,
- класс точности 1,0%,
- гальваническая развязка 2 кВ (вход/выход),
- постоянная времени 150 мс,
- монтаж на шину или панель (габариты увеличены из-за разъемной конструкции),
- рабочая температура от -40 до $+60$ °С,
- класс защиты корпуса IP40,
- особенность конструкции — разъемный магнитопровод для установки на действующую линию.

Преимущества. Возможность монтажа без отключения электропитания и демонтажа кабеля. Широкий температурный диапазон, адаптированный для суровых условий. Российское производство. Усиленный корпус с защитой от механических воздействий.

Недостатки. Большие габариты и масса из-за разъемной конструкции магнитопровода. Меньшая точность (1,0%) по сравнению с моноблочными решениями. Более низкое быстродействие (150 мс) из-за инерционности разъемного сердечника. Фиксированный диапазон измерения (не программируется). Более высокая стоимость из-за сложности конструкции.

Третий вариант — комбинированное решение. Трансформатор тока с отдельным преобразователем (рисунок 2.16).



а)

б)

Рисунок 2.16 – Трансформатор тока + Отдельный преобразователь:

а) –Трансформатор тока ИЭК ТТИ-300

б) –Преобразователь измерительный переменного тока E854B

Классическая схема, состоящая из измерительного трансформатора тока (ТТ) и отдельного преобразователя сигнала (5 А → 4–20 мА). Состав комплекта:

1. Трансформатор тока ИЭК ТТИ-300 (первичный ток 300 А, вторичный ток 5 А, класс точности 1,0)
2. Преобразователь измерительный переменного тока E854B (0–5 А / 4–20 мА).

Преимущества комбинированного решения:

- возможность замены отдельных компонентов при выходе из строя,
- широкая доступность компонентов на рынке,
- гибкость в выборе трансформатора тока под конкретную задачу.

Недостатки для данной задачи:

- необходимость монтажа и подключения двух устройств, что увеличивает трудоёмкость работ;
- суммарная погрешность выше из-за каскадного преобразования ($TT \rightarrow 5\text{ A} \rightarrow 4\text{--}20\text{ mA}$);
- меньшая надёжность из-за большего количества контактных соединений и точек возможного отказа;
- занимает больше места в шкафу управления (два модуля вместо одного).

Для объективного выбора измерительного устройства полученные данные сведены в сводную таблицу 2.6, где сравнение проводится по ключевым техническим, эксплуатационным критериям.

Таблица 2.6 - Сравнительная характеристика преобразователей тока

Критерий	Seneca T201D300	ПИТ-500-ТР-4/20-Б50-М	ИЭК ТТИ-300 + Е854В
Диапазон измерения	0–300 А (программируемый)	0–500 А (фиксированный)	0–300 А
Выходной сигнал	4–20 мА	4–20 мА	4–20 мА
Класс точности (системы)	0,5 %	1,0 %	1,5 % (суммарный)
Гальваническая развязка	3 кВ (тройная)	2 кВ (двойная)	2 кВ (зависит от преобразователя)
Постоянная времени	50 мс	150 мс	300 мс (0,3 с)
Питание	20–30 В DC	24 В DC	24 В DC
Монтаж	1 модуль (12,5 мм, DIN)	Специальный крепёж (габаритный)	2 модуля (ТТ + преобразователь)
Установка на линию	Требуется разрыв цепи	Без разрыва цепи	Требуется разрыв цепи
Настройка диапазона	DIP-переключатели	Не программируется	Требуется замена ТТ
Рабочая температура	–20...+60 °С	–40...+60 °С	–40...+60 °С
Согласование цепей	Встроенное	Встроенное	Встроенное
Надёжность	Высокая (моноблок)	Высокая (спец. конструкция)	Средняя (два устройства)

На основании проведённых расчётов и сравнительного анализа для системы контроля электроприводов турбин, выбран преобразователь тока Seneca T201D300.

Ключевые аргументы выбора.

Полное соответствие расчётным параметрам. Диапазон измерения 0–300 А удовлетворяет условию с запасом. Что позволяет корректно измерять как номинальный, так и пусковой ток двигателя.

Высокая точность измерений. Класс точности 0,5% значительно превышает требуемое значение. В отличие от комбинированной схемы (ИЭК + E854B), моноблочное решение Seneca обеспечивает высокую достоверность данных для системы диагностики.

Надёжная гальваническая развязка. Тройная изоляция вход/выход/питание напряжением 3 кВ защищает ПЛК и низковольтную аппаратуру от высоковольтных помех и пробоев в силовой цепи. Что выше, чем у аналогов (2 кВ у ПИТ-500 и E854B).

Оптимальное быстродействие. Постоянная времени 50 мс позволяет отслеживать динамические процессы при пуске и останове турбины. Без существенных искажений сигнала,

Простота монтажа и согласования. Встроенный измерительный трансформатор не требует расчёта нагрузки вторичной цепи, в отличие от схемы с ТТ и E854B. Что снижает риск ошибок при проектировании и монтаже.

Компактность и удобство настройки. Ширина корпуса 12,5 мм и стандартное крепление на DIN-рейку позволяют рационально разместить устройство в шкафу управления. Наличие DIP-переключателей даёт возможность изменить диапазон измерения на месте, без замены оборудования.

2.7 Выводы по главе 2

Во второй главе выпускной квалификационной работы проведён расчёт и выбор ключевого оборудования. С обоснованием для системы автоматизации электрооборудования дробемётной установки.

Основные результаты проведённых исследований следующие.

По выбору контроллера управления, на основании анализа функциональных требований, количества дискретных и аналоговых входов и выходов, а также условий эксплуатации выбрано программируемое логическое реле Siemens LOGO! 8. Данное устройство обеспечивает достаточную вычислительную мощность для реализации алгоритмов управления турбинными агрегатами и системой дозирования дробы.

По расчёту и выбору устройства плавного пуска для электродвигателя турбины АИР 18,5 кВт, 1500 об/мин выполнен расчёт номинального и пускового токов. На основании расчётов ($I_{\text{ном}} \approx 35,6 \text{ А}$, $I_{\text{п}} \approx 249 \text{ А}$) и условия обеспечения запаса по мощности, проведён сравнительный анализ устройств плавного пуска. Выбрано устройство Instart SBI-22/43-04 мощностью 22 кВт с встроенным байпасным контактором, что обеспечивает снижение пусковых токов до $2,5\text{--}3 I_{\text{ном}}$. Плавный разгон турбины без механических ударов и минимизацию тепловыделения в шкафу управления, благодаря встроенному байпасу.

По выбору исполнительного механизма, для дозирования дробы с учётом требования плавного регулирования подачи стальной дробы по аналоговому сигналу 0–10 В, выполнен расчёт условного прохода. На основании сравнительного анализа выбран пропорциональный электромагнитный клапан MagnaValve 24 НТ с условным проходом Ду 25 мм.

Устройство обеспечивает прямое управление от аналогового выхода ПЛК, без дополнительных преобразователей. Быстродействие до 1,5 с, необходимое для точного дозирования. Высокую износостойкость проточной части.

По расчёту и выбору датчиков тока для обратной связи, для организации контроля загрузки электроприводов турбин, выполнен расчёт параметров измерительного канала. Диапазона измерения с учётом пусковых токов, класса точности, быстродействия и условий гальванической развязки. По результатам сравнительного анализа выбран преобразователь тока Seneca T201D300 с диапазоном 0–300 А и выходным сигналом 4–20 мА. Устройство обеспечивает класс точности 0,5% для достоверной диагностики перегрузок. Тройную гальваническую развязку 3 кВ для защиты ПЛК. Время отклика 50 мс для регистрации динамических процессов. Компактное исполнение и простоту настройки.

По остальному оборудованию шкафа автоматизации, выбор вспомогательных компонентов, таких как автоматические выключатели защиты цепей управления, промежуточные и силовые реле, контакторы и пускатели, блоки питания 24 В постоянного тока, клеммные колодки, кнопки, сигнальные лампы, кабели и провода, осуществлялся на основании стандартных технических требований, каталожных данных производителей и нормативной документации (ПУЭ, ГОСТ). Данные устройства не требуют индивидуального расчёта в рамках данной работы, поскольку их параметры выбираются по номинальным токам и напряжениям, соответствующим стандартным рядам. Условия применения являются типовыми для промышленных шкафов управления, а надёжность обеспечивается соблюдением правил монтажа и эксплуатации.

Проведённые расчёты и обоснованный выбор основного оборудования создают техническую базу для разработки надёжной, точной и экономически эффективной системы автоматизации дробемётной установки. Выбранные компоненты (контроллер LOGO!, УПП Instart, клапан MagnaValve, датчик Seneca) обеспечивают выполнение всех требуемых функций управления и контроля, а также совместимы между собой по интерфейсам и условиям эксплуатации.

ГЛАВА 3 РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ КОНТРОЛЛЕРА УПРАВЛЕНИЯ ДРОБЕМЁТНОЙ УСТАНОВКОЙ

Программное обеспечение системы управления дробемётной установкой обеспечивает рабочие циклы дробеманклепа рессорных листов. Следит за состоянием оборудования, отвечает за безопасность персонала. В этой главе нужно решить несколько конкретных задач:

- прописать порядок включения и отключения исполнительных механизмов;
- сделать блокировки и аварийное отключение;
- обрабатывать дискретные сигналы и аналоговые данные с датчиков;
- вывести индикацию и диагностику.

Для программирования контроллера Siemens LOGO! 8 взята родная среда LOGO! Soft Comfort v8.x. Остановились на ней по следующим причинам:

- работает с модулем LOGO! 8 и его штатными средствами связи — Ethernet, RS485, любыми модулями расширения;
- поддерживает графические языки, в частности LAD — он практически повторяет старые релейно-контакторные схемы и до сих пор широко используется в машиностроении под задачи шагового управления;
- есть встроенный симулятор — отлаживать программу можно без подключения реального контроллера;
- не нужно устанавливать дополнительные пакеты.

Язык LAD выбрали как основной язык из-за его наглядности. Блокировки легко проверять, а обслуживать программу потом сможет штатный персонал предприятия. Там, где нужны сложные сравнения или масштабирование аналоговых сигналов, используются встроенные функциональные блоки среды, которые просто вставляются в программу.

3.1 Карта входов/выходов и структура программы

Перед тем, как писать программу, сделали таблицу входов/выходов. Где каждому физическому сигналу присвоили соответствующий адрес контроллера (таблица 3.1). Номера входов и выходов даны для базового модуля LOGO! и всех модулей расширения. Конкретная нумерация сдвигается в зависимости от настройки проекта.

Таблица 3.1 - Карта входов/выходов системы управления

Адрес LOGO!	Тип	Физический сигнал
I1	Дискретный вход	Аварийная цепь собрана
I2	Дискретный вход	Взвод цепи управления
I3	Дискретный вход	Пуск в автоматическом режиме
I4	Дискретный вход	Переключатель работа-наладка
I5	Дискретный вход	Контроль включенного автоматического выключателя привода элеватора
I6	Дискретный вход	Контроль включенного магнитного пускателя привода элеватора
I7	Дискретный вход	Контроль включенного автоматического выключателя привода шнека
I8	Дискретный вход	Контроль включенного магнитного пускателя привода шнека
I9	Дискретный вход	Контроль включенного магнитного пускателя привода вытяжки
I10	Дискретный вход	Контроль включенного автоматического выключателя конвейера
I11	Дискретный вход	Контроль включенного магнитного пускателя привода конвейера
I14	Дискретный вход	Датчик наличия листа на ленте конвейера
I17	Дискретный вход	Контроль включенного УПП привода турбины №1
I18	Дискретный вход	Контроль включенного УПП привода турбины №2
AI1	Аналоговый вход	Трансформатор тока привода турбины №1
AI2	Аналоговый вход	Трансформатор тока привода турбины №2
Q1	Дискретный выход	Включение контакторов взвода цепей управления
Q2	Дискретный выход	Включение магнитного пускателя элеватора
Q3	Дискретный выход	Включение магнитного пускателя шнека
Q4	Дискретный выход	Включение магнитного пускателя вытяжки
Q5	Дискретный выход	Включение магнитного пускателя конвейера
Q7	Дискретный выход	Включение УПП привода турбины №1
Q8	Дискретный выход	Включение УПП привода турбины №2
Q9	Дискретный выход	Световая сигнализация «Ошибка»
Q10	Дискретный выход	Световая сигнализация «Автомат»
Q11	Дискретный выход	Световая сигнализация «Наладка»
Q12	Дискретный выход	Световая сигнализация «Вытяжка»
AQ1	Аналоговый выход	Электромагнит подачи дробы на турбину №1
AQ2	Аналоговый выход	Электромагнит подачи дробы на турбину №2
ETH1	Цифровой интерфейс	Двусторонний обмен данными с панелью оператора: передача статусов, уставок.

Программа работает циклически и разбита на пять смысловых фрагментов:

1. Инициализация и контроль безопасности. Проверка исходного состояния.
2. Последовательный пуск оборудования. Включение механизмов друг за другом.
3. Рабочий цикл и управление электромагнитом. Основная логика очистки рессорных листов.
4. Мониторинг параметров. Отслеживание за токами, процентном соотношении открытия электромагнитов.
5. Обработка аварийных ситуаций.

Каждый такой блок отрабатывает за один цикл ПЛК. Примерно 10–20 мс. Этого времени хватает, чтобы успеть среагировать на аварию.

3.2 Разработка алгоритмов управления

Программа написана в графическом редакторе LOGO! Soft Comfort в режиме LAD. В данном режиме используются обычные контакты (нормально открытые и нормально закрытые), катушки выходов, таймеры, RS-триггеры и блоки аналоговой обработки.

Контроль безопасности и взвод аварийной цепи

Цепь управления собрана на RS-триггере с приоритетом сброса (блок SF018). Чтобы включить исполнительный механизм (выход Q1), должны одновременно выполняться два условия:

- на входе I1 есть сигнал готовности (контакт нормально открытый);
- кратковременно нажата кнопка «Взвод цепи управления» — вход I2.

Если оба условия сошлись, триггер SF018 переключается в 1 и выдаёт импульс на катушку контактора Q1. Контактор встаёт на самоудержание.

Сбрасывается триггер обратно в ноль по сигналу приоритетного сброса (вход R). Сигнал приходит либо от диагностики, либо от любой аварийной защиты.

Фрагмент программы и сообщения с панели оператора показаны на рисунках 3.1 и 3.2.

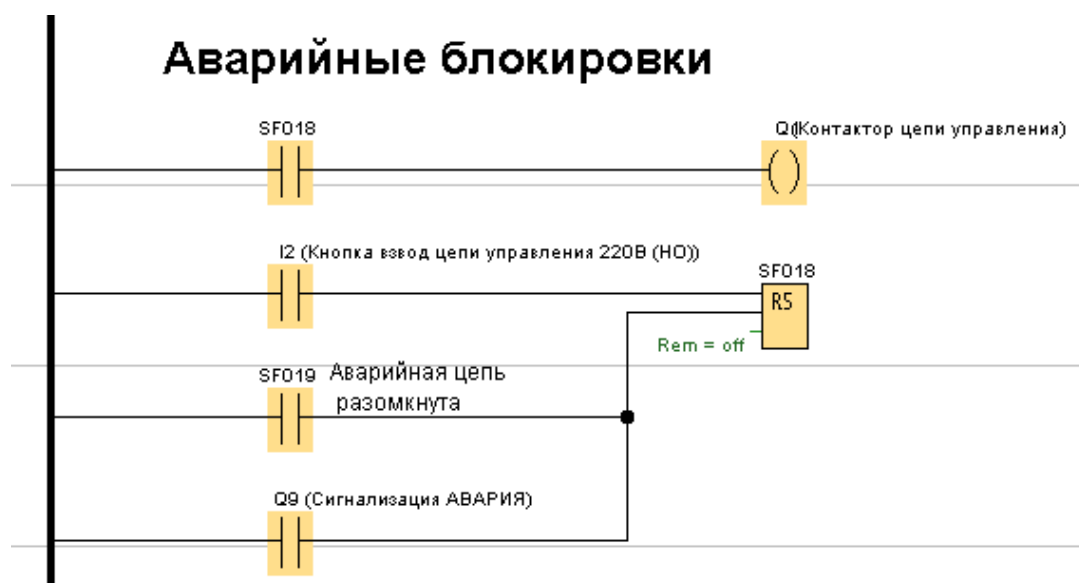


Рисунок 3.1 – Аварийные блокировки

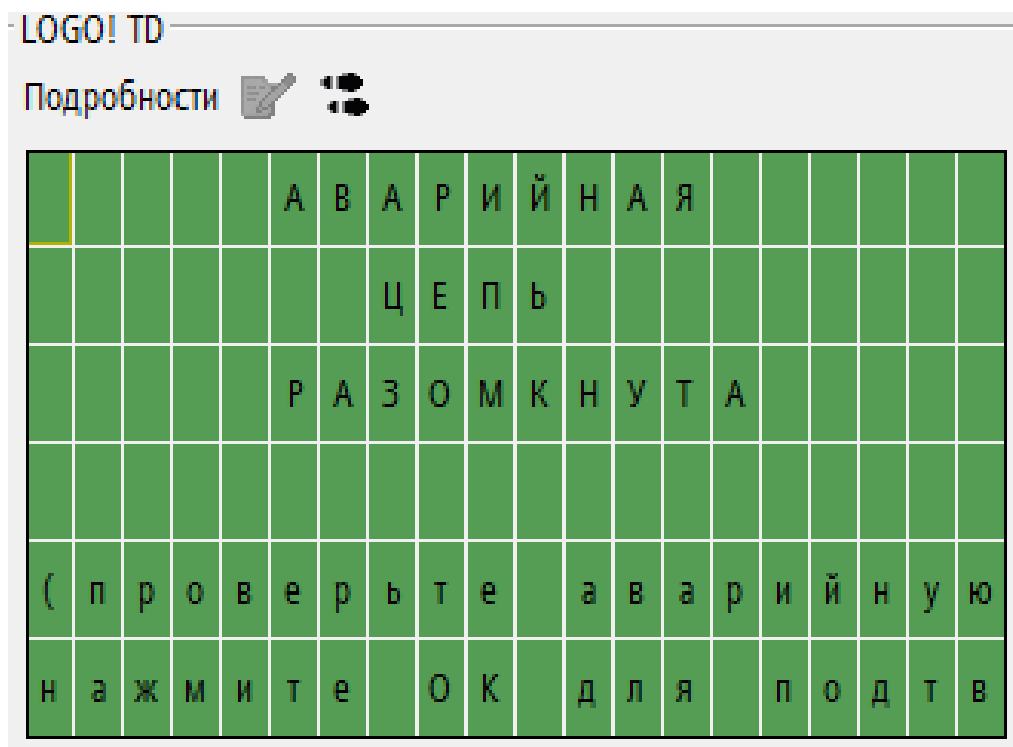


Рисунок 3.2 – Сообщение о неисправности аварийной цепи

Работа в автоматическом режиме:

Для упрощения программы, улучшения её читаемости и снижения нагрузки на контроллер, использован блок памяти SF024 (рисунок 3.3). SF024 выполняет роль промежуточного реле автоматического режима. Блок устанавливается в единицу по сигналу с входа I3 («Пуск в автоматическом режиме»). Сбрасывается в ноль по приоритетному входу R при возникновении любого аварийного или технологического запрета.

В качестве сбрасывающих сигналов выступают:

- положение переключателя «Работа/Наладка» (I4),
- отключение автоматов или пускателей приводов элеватора (I5, I6), шнека (I7, I8), вытяжки (I9), конвейера (I10, I11), устройств плавного пуска турбин (I17, I18),
- потеря готовности цепей управления (Q1).

При формировании хотя бы одного из перечисленных состояний, триггер SF024 сразу выключается и блокирует все цепи автоматического цикла. Что гарантирует безопасную остановку установки при любой нештатной ситуации.

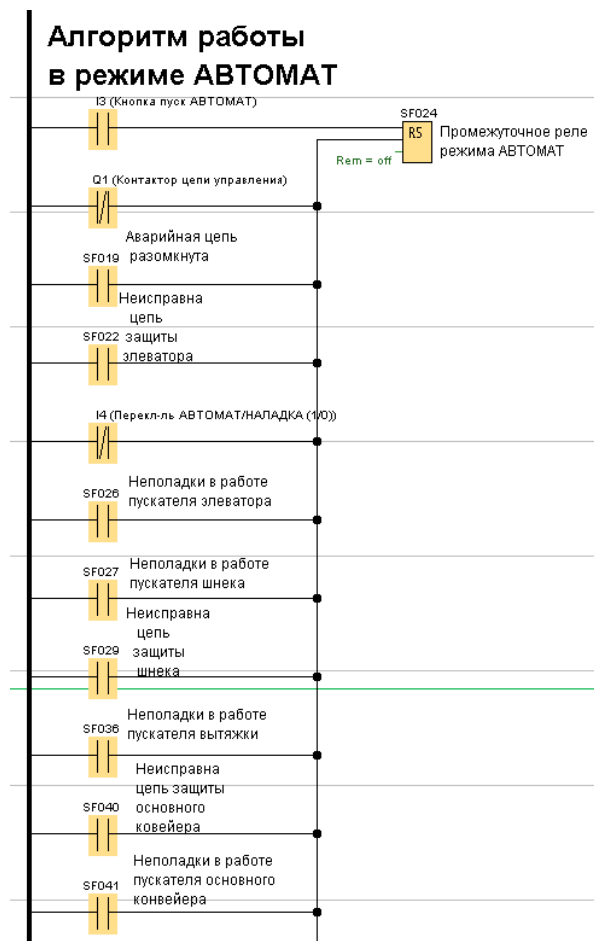


Рисунок 3.3 – Алгоритм триггера SF024

Контакты этого триггера задействованы во всех цепях включения исполнительных механизмов. В качестве примера на рисунке 3.4 показано, как происходит включение шнека в автоматическом режиме.

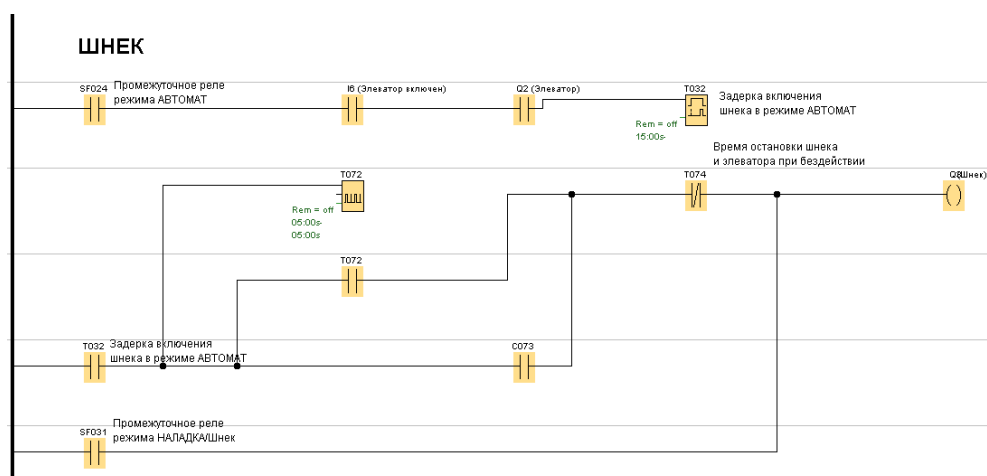


Рисунок 3.4 – Включение шнека в автоматическом режиме

В автоматическом режиме механизмы включаются каскадом, в строгой последовательности. Сначала элеватор, шнек, вытяжка, турбина №1, турбина №2, конвейер. В последнюю очередь электромагниты подачи дроби №1 и №2.

При первом запуске, шнек работает циклически — три раза включается на 5 секунд, потом пауза 5 секунд. Это нужно, чтобы стальная дробь успела подняться из нижней части элеватора, без перегрузок привода.

Наличие заготовки на конвейере отслеживает дискретный датчик на входе I14. Если сигнал есть (единица), установка работает в штатном режиме.

Как только сигнал пропадает, запускается поэтапное отключение части механизмов с выдержками времени. Через 20 секунд отключается электромагнит подачи дроби №1, через 40 секунд — №2. Через 60 секунд останавливаются конвейер, элеватор и шнек. Когда заготовка снова появляется, все приводы включаются одновременно. Такая логика снижает динамические нагрузки на механику и не даёт оборудованию работать вхолостую. Тем самым увеличивает межремонтный ресурс.

Качество обработки контролируется косвенно, по току двигателей турбин. На вход AI1, через трансформатор тока, подается ток турбины №1, на AI2 — турбины №2. Программа сравнивает измеренные значения с порогом 16 А. Это минимальный ток, при котором турбина ещё выдаёт нормальную производительность. Если ток любой турбины падает ниже этого порога (из-за нехватки дробы, износа лопаток или проскальзывания ремня), установка аварийно останавливается. На панель оператора выдаётся сообщение с указанием неисправности и рекомендацией (рисунок 3.5). Это позволяет избежать брака и не допустить аварийного режима электропривода.

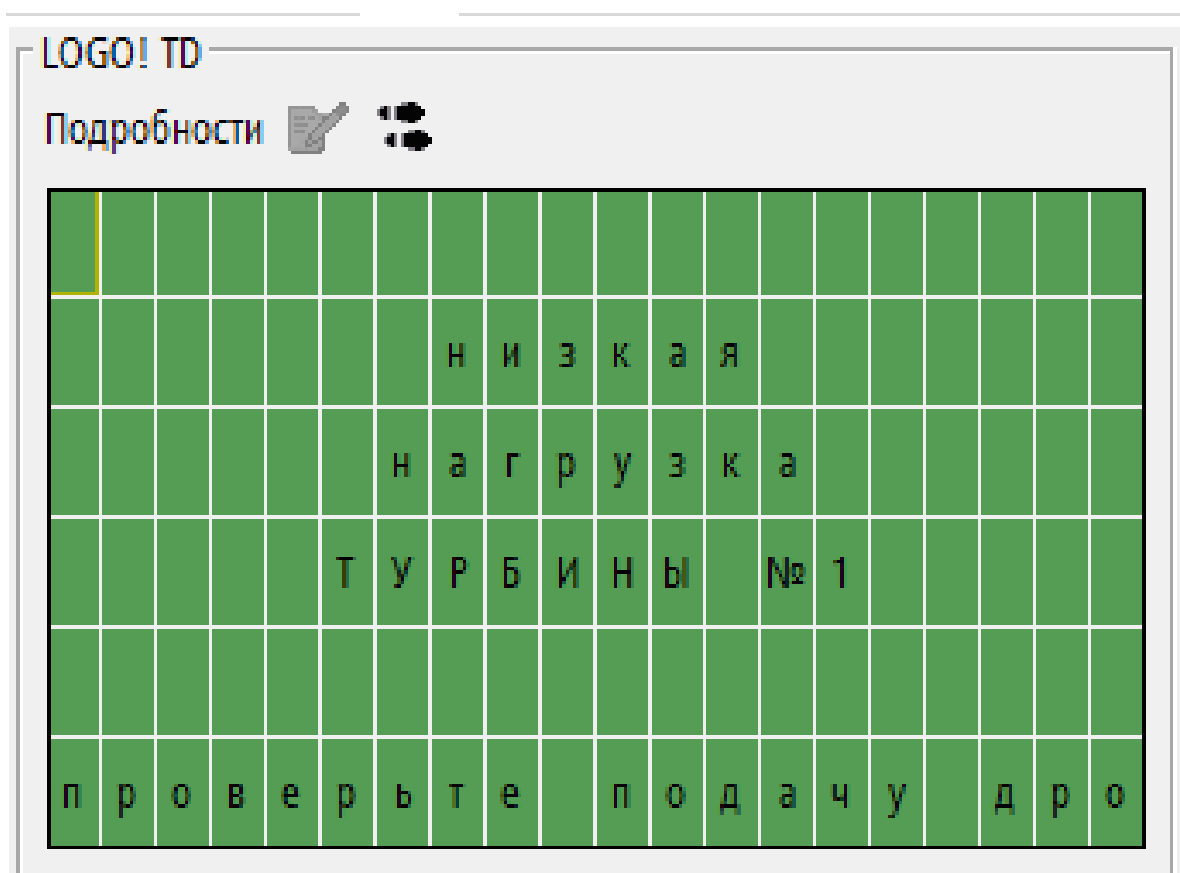


Рисунок 3.5 – Диагностическое сообщение

При нормальной работе установки в автоматическом режиме, панель оператора показывает основные технологические параметры в реальном времени. На экран выводятся измеренные значения тока приводов турбин и текущий процент открытия электромагнитных клапанов подачи абразива (рисунок 3.6). Это позволяет персоналу следить за нагрузкой двигателей и положением регулирующей арматуры прямо во время работы. При этом не останавливая цикл. Такой подход делает процесс более прозрачным и упрощает быструю диагностику.

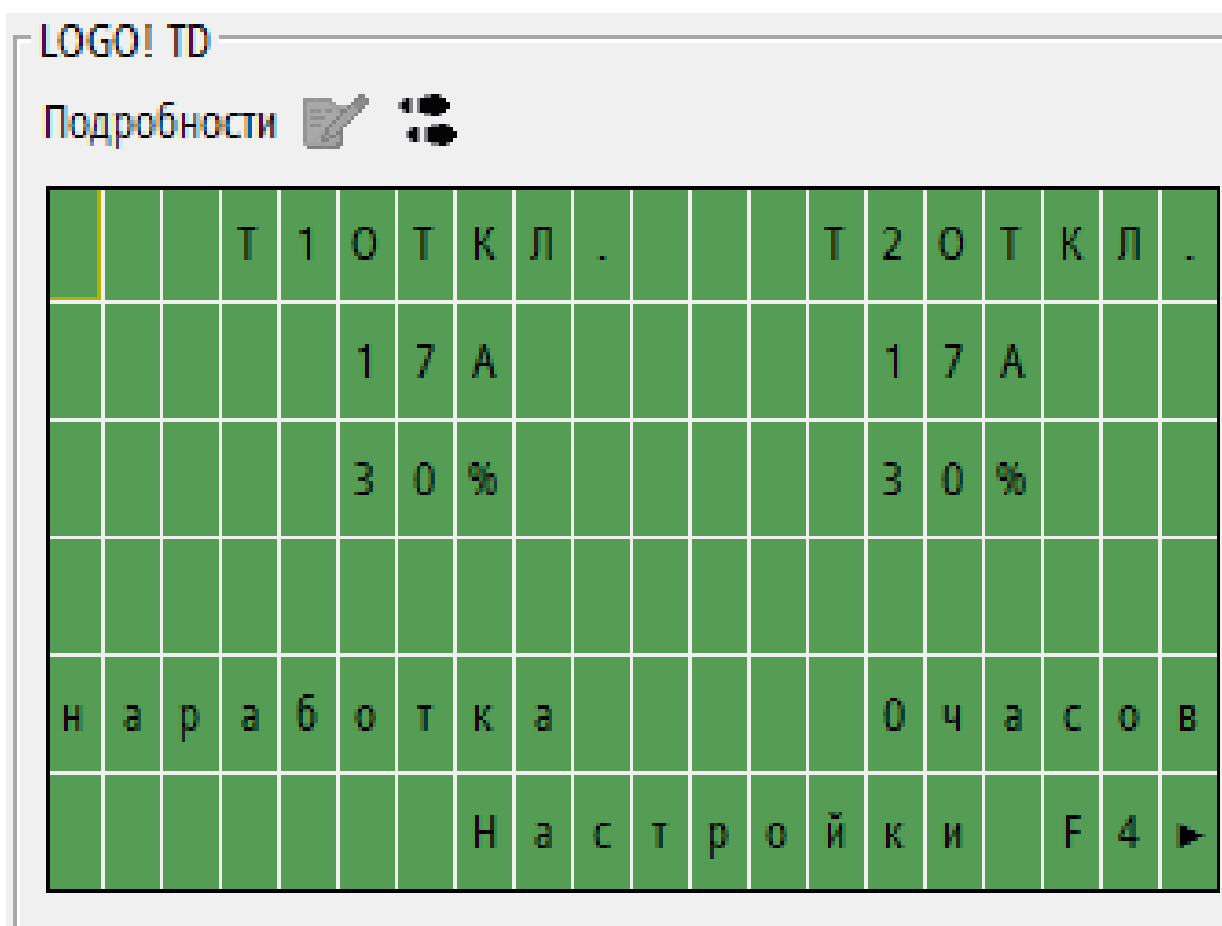


Рисунок 3.6 – Визуализация ключевых технологических параметров

Работа в наладочном режиме:

В программе предусмотрен отдельный наладочный режим — по сути, сервисный. В данном режиме можно включать любой механизм отдельно. В обход всех автоматических блокировок и каскадных цепочек. Режим наладки нужен для проведения регламентных работ, диагностики, настройки датчиков, проверки силовых цепей. Чтобы показать, как это реализовано программно, на рисунке 3.7 приведён пример включения привода элеватора в ручном режиме. Видно, как формируются разрешающие сигналы и обрабатываются команды оператора.

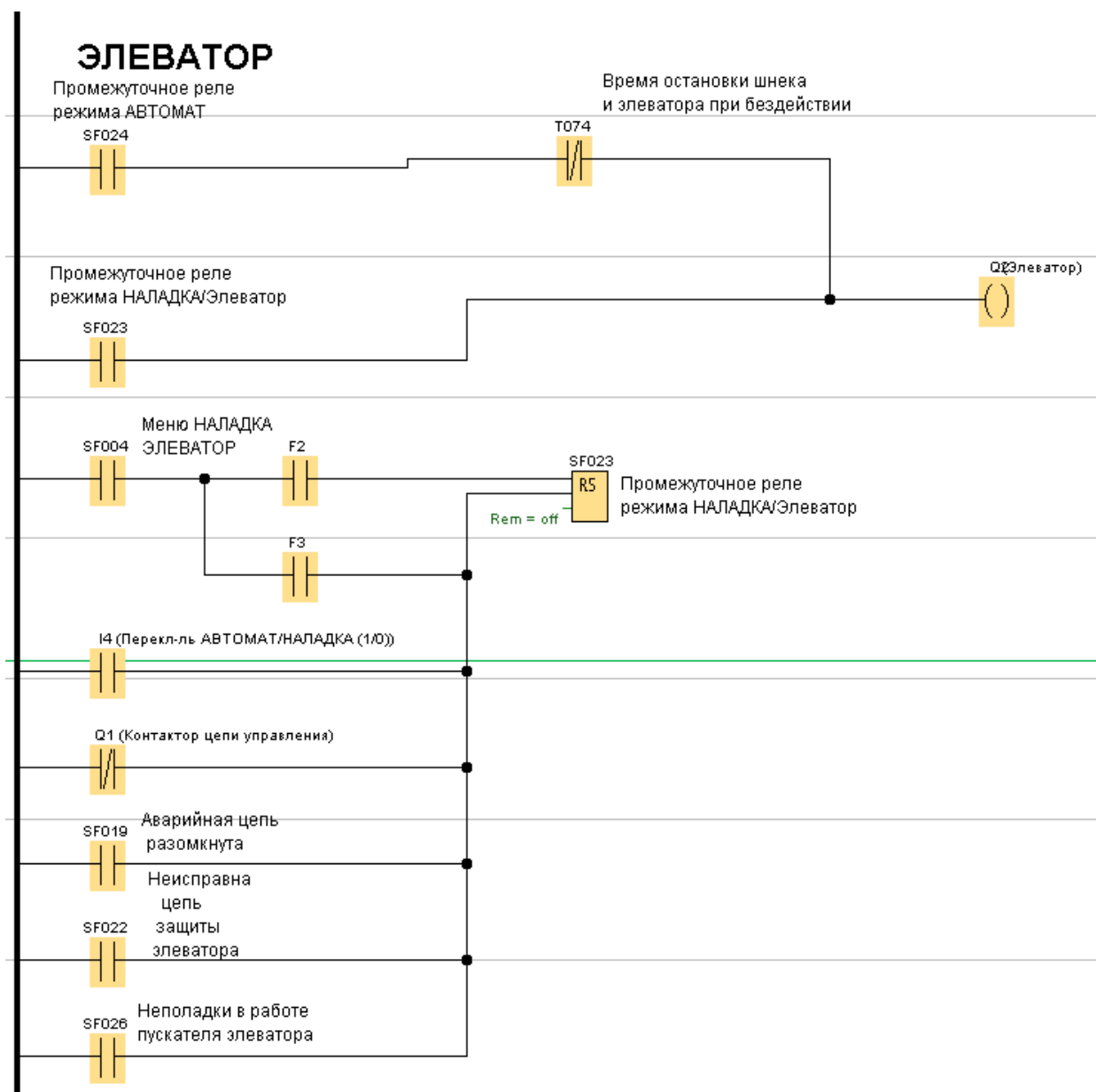


Рисунок 3.7 – Алгоритм включения элеватора в наладочном режиме

Для снижения числа дискретных входов контроллера, упрощения шкафа автоматизации и уменьшения его материалоёмкости, функции локального управления в наладочном режиме вынесены на панель оператора.

Приводы включаются программными кнопками на экране, команды передаются в контроллер по цифровой линии связи. Это позволило сократить номенклатуру коммутационных аппаратов, упростить монтаж, повысить надёжность за счёт уменьшения количества физических контактов и сделать рабочее место оператора эргономичнее (рисунок 3.8).

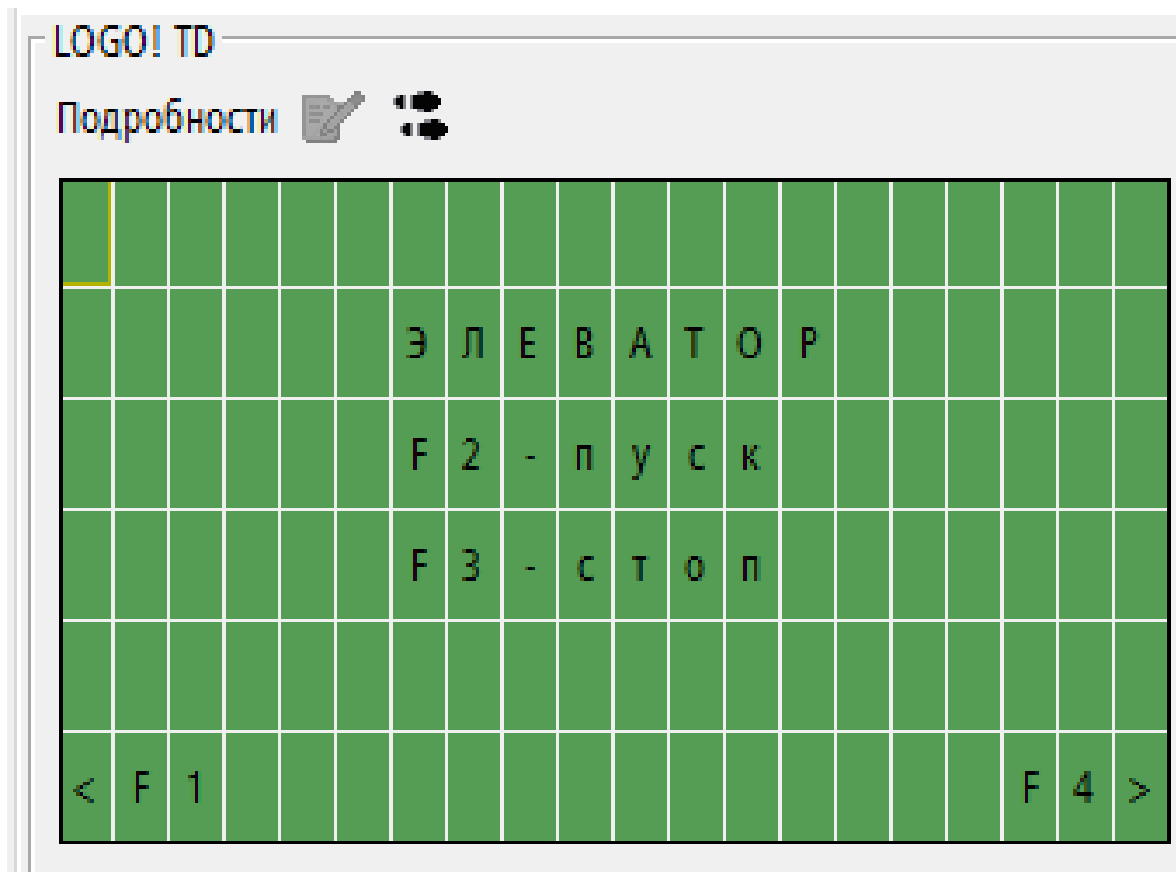


Рисунок 3.8 – Управление в наладочном режиме

В течение всего цикла работы, контроллер непрерывно следит за состоянием коммутационной и защитной аппаратуры всех исполнительных механизмов (рисунок 3.9). При обнаружении любой неисправности или обрыва цепей контроля, контроллер выдаёт приоритетный сигнал останова, который отключает силовые приводы установки. Одновременно с остановкой на панель оператора выводится сообщение о неисправности, с указанием конкретного контура (рисунок 3.10). Такая схема обеспечивает минимальное время реакции системы защиты, быстрое определение места аварии и соответствие требованиям промышленной безопасности.

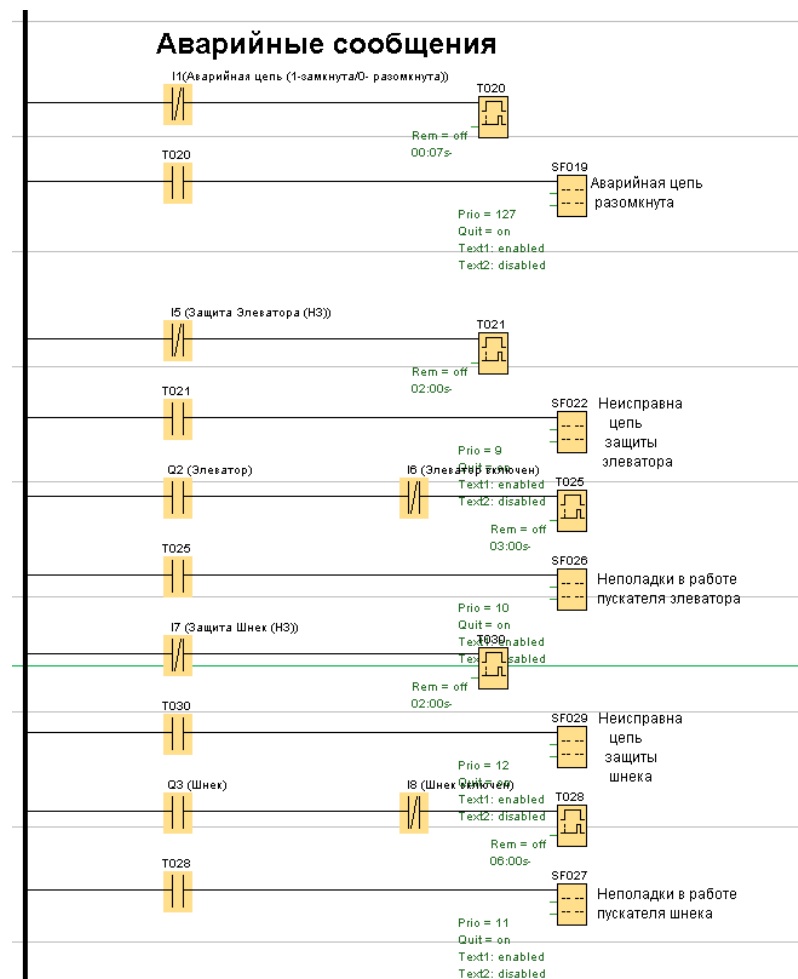


Рисунок 3.9 – Формирование аварийных ситуаций

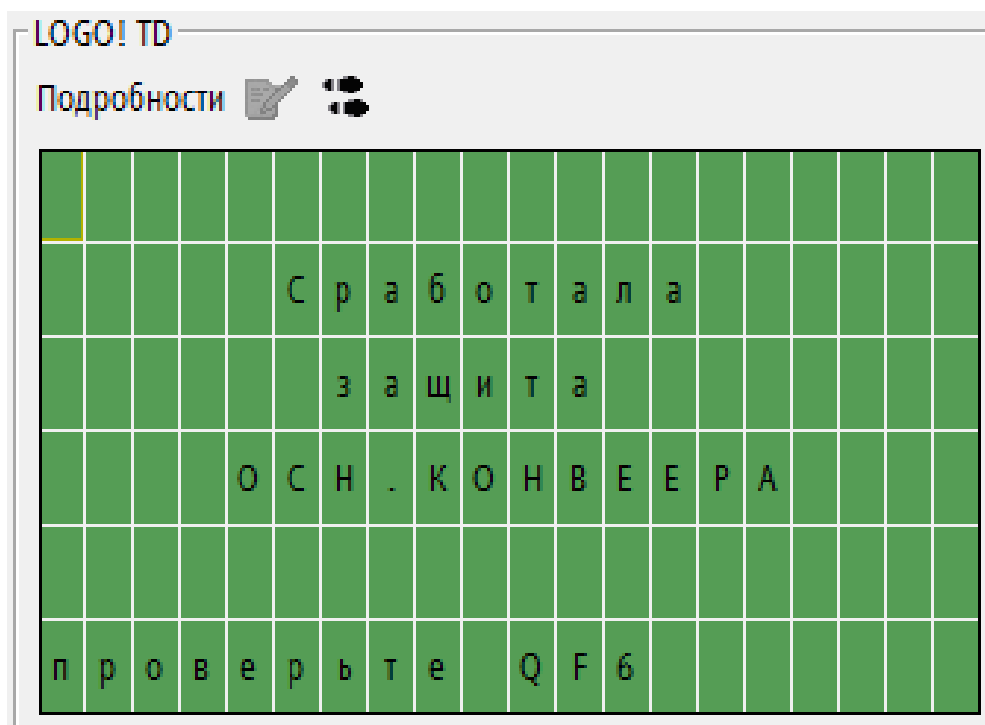


Рисунок 3.10 – Сообщение о неисправности

3.3 Вывод по главе 3

В третьей главе спроектирована и программно реализована система автоматического управления дробемётной установкой. Среда разработки — LOGO! Soft Comfort v8.x, язык программирования — LAD (Ladder Diagram). Это дало наглядную логику и упростило проверку цепей безопасности.

Программа имеет модульную структуру: каскадный пуск механизмов, поэтапный останов, аппаратные и программные блокировки, мониторинг аналоговых сигналов. Реализованы автоматический и наладочный режимы. В автоматическом режиме работает импульсный запуск шнека (3 цикла по 5 секунд). Управление по датчику наличия заготовки (I14). Контроль тока турбин (AI1, AI2), для косвенной оценки интенсивности обработки.

Безопасность обеспечена многоуровневой системой защит. Аварийные сигналы имеют безусловный приоритет над любыми управляющими командами. Контроллер непрерывно следит за состоянием коммутационной аппаратуры и цепей контроля. При любой нештатной ситуации формируется приоритетный сигнал останова. Событие записывается в диагностический регистр и выводится на панель оператора с указанием неисправного контура.

Аппаратную конфигурацию удалось упростить за счёт того, что дискретные команды в наладочном режиме реализованы программно. Это сократило число физических входов контроллера и количество кнопок в шкафу, повысило надёжность. На панели оператора отображаются токи приводов, процент открытия клапанов.

Программа проверена во встроенном симуляторе LOGO! Soft Comfort. Реакция на аварию — не более 25 мс, цикл выполнения программы стабильно укладывается в заданные интервалы. Разработанное ПО полностью готово к промышленному внедрению.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы «Автоматизация и модернизация электрооборудования дробебетной установки Рессорного производства АО «Чусовской металлургический завод» проведена автоматизация системы управления дробебетной установкой. Исходная релейно-контакторная схема заменена на управление на базе программируемого логического контроллера Siemens LOGO! 8.

По результатам анализа выявлены основные недостатки существующей системы. Прямой пуск двигателей мощностью 18,5 кВт приводит к пусковым токам до 250 А и механическим ударам. Ручное управление заслонками подачи дробы делает качество обработки зависимым от оператора. Отсутствует контроль тока турбин, что ведёт к браку при выходе одной турбины из строя. Оборудование работает непрерывно, без автоматической остановки при отсутствии заготовки.

В рамках проектирования решены следующие задачи. Выбрано программируемое логическое реле Siemens LOGO! 8 24/24CE с модулями расширения DM8 и AM2. Обеспечено 15 дискретных входов, 12 дискретных выходов, 2 аналоговых входа и 2 аналоговых выхода. Для привода турбин выбрано устройство плавного пуска Instart SBI-22/43-04 со встроенным байпасом. Пусковой ток снижен с 250 А до 90–110 А. Тепловыделение в рабочем режиме уменьшено с 160 Вт до 2 Вт. Для дозирования дробы выбран пропорциональный электромагнитный клапан MagnaValve 24 НТ с управлением 0–10 В. Исключена пневматическая обвязка. Время отклика не более 1,5 с. Для контроля тока выбран преобразователь Seneca T201D300 (0–300 А, выход 4–20 мА, класс точности 0,5). Обеспечена диагностика перегрузок и обрыва фаз.

Разработано программное обеспечение в среде LOGO! Soft Comfort на языке LAD. Программа включает пять функциональных модулей: инициализация и безопасность, каскадный пуск, рабочий цикл, мониторинг аналоговых параметров, обработка аварий. Реализован каскадный пуск: элеватор, шнек,

вытяжка, турбина №1, турбина №2, конвейер, электромагниты подачи дробы. Шнек при запуске работает циклически (3×5 секунд) для исключения перегрузки элеватора. По датчику наличия заготовки (I14) организован поэтапный останов: через 20 с отключается электромагнит №1, через 40 с — №2, через 60 с — конвейер, элеватор и шнек. Контроль тока турбин выполняется по порогу 16 А. При падении тока ниже уставки, установка аварийно останавливается с выдачей сообщения на панель оператора. Наладочный режим вынесен на панель оператора, что позволило исключить часть физических кнопок в шкафу.

Практическая значимость работы заключается в следующем. Исключён брак по причине выхода одной турбины. Система фиксирует падение тока и останавливает конвейер. Снижены пусковые токи и механические удары за счёт УПП. Уменьшен простой оборудования. Диагностика показывает конкретный неисправный контур. Обеспечена блокировка запуска при открытых дверях камеры. Персонал получил возможность дистанционного контроля токов и положения клапанов с панели оператора.

Разработанная система полностью соответствует требованиям безопасности и технологическим процессам по обработке рессорных листов.

Система внедрена на серийной дробемётной установке №12 и успешно прошла все испытания.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Дмитриева, С.В. Индустрия 4.0 и цифровая трансформация в промышленном комплексе: внедрение современных технологий и инноваций для повышения производительности и конкурентоспособности // Инновации и инвестиции. – 2023. – № 5. – С. 112–118. – EDN: XQWM7K.
2. ГОСТ 18322-2016. Система технического обслуживания и ремонта техники. Термины и определения. – Введ. 2017-07-01. – М.: Стандартинформ, 2017. – 14 с. – (Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу).
3. Шевчик, Н.Е., Зеленькевич, А.И. Энергосберегающие асинхронные двигатели: монография. – Минск: БГАТУ, 2018. – 172 с. – EDN: YHQR3P.
4. Петров, А.В., Соколов, Д.М. Повышение надежности систем электропривода на основе микропроцессорных устройств защиты // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2021. – Т. 25, № 3. – С. 567–579. – DOI: 10.21285/1814-3520-2021-3-567-579. – EDN: KZLP8M.
5. ГОСТ Р МЭК 60204-1-2007. Безопасность машин. Электрооборудование машин и механизмов. Часть 1. Общие требования. – Введ. 2008-07-01. – М.: Стандартинформ, 2008. – 32 с.
6. Васильев, А.Н., Петрова, Е.В. Применение SCADA-систем для автоматизации удаленного управления промышленными объектами // Автоматизация в промышленности. – 2023. – № 2. – С. 15–23. – EDN: WXPL4K.
7. Мельников, Г.П., Хазов, В.Я. Диагностика и техническое состояние электротехнического оборудования. Методы предиктивного обслуживания: учебное пособие. – М.: Высшая школа, 2020. – 384 с. – EDN: QMZR7T.
8. Иванов, А.В., Кузнецов, С.П. Теория и практика дробеструйного упрочнения деталей машин // Вестник машиностроения. – 2021. – № 5. – С. 45–52. – EDN: XYZ123.

9. Петров, Д.М. Влияние параметров дробеструйной обработки на усталостную прочность листовых рессор // Заготовительные производства в машиностроении. – 2020. – № 8. – С. 12–18. – EDN: ABC456.

10. Сидоров, В.Г., Волков, О.Н. Центробежные дробебетные аппараты: принцип действия, кинематика и эффективность разгона абразива // Машиностроение и автоматизация производства. – 2019. – № 3. – С. 22–27. – EDN: DEF789.

11. Григорьев, А.С., Лебедев, В.Д. Переход от ручного управления к автоматизированным системам контроля в дробеструйных процессах // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2023. – Т. 24, № 2. – С. 88–95. – EDN: PQR901.

12. Иванов, П.С., Лебедев, А.В. Эффективность дробеструйного наклепа в повышении предела выносливости деталей машин // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2022. – Т. 18, № 3. – С. 112–118. – EDN: MNP789.

13. Григорьев, С.В., Новиков, К.Л. Сравнительный анализ релейно-контакторных и программируемых систем управления промышленным оборудованием // Промышленная автоматика и контрольно-измерительные приборы. – 2021. – № 8. – С. 44–50. – EDN: VWX345.

14. Орлов, Д.И., Козлова, М.С. Требования промышленной безопасности к системам блокировки и доступа в зоны работы дробебетного оборудования // Промышленная безопасность. – 2022. – № 4. – С. 28–34. – EDN: TYU901.

15. Зайцев, А.П., Волкова, Н.И. Переход к техническому обслуживанию по фактическому состоянию на базе ПЛК и IoT-диагностики в серийном производстве // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2023. – Т. 24, № 2. – С. 76–83. – EDN: ASDF234.

16. Орлов, Д.И., Козлова, М.С. Требования промышленной безопасности к системам блокировки и доступа в зоны работы дробебетного оборудования // Промышленная безопасность. – 2022. – № 4. – С. 28–34. – EDN: TYU901.

17. Васильев, А.Н., Соколов, П.Р. Архитектурные принципы построения иерархических систем промышленной автоматизации // Автоматизация в промышленности. – 2021. – № 9. – С. 12–19. – EDN: ARC135.
18. Козлов, М.В., Петрова, Е.С. Декомпозиция функций управления в многоуровневых АСУ ТП: повышение отказоустойчивости и ремонтпригодности // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2022. – Т. 23, № 5. – С. 267–274. – EDN: DEC468.
19. Смирнов, Д.А., Лебедев, И.В. Эргономические требования к проектированию человеко-машинных интерфейсов в системах диспетчеризации // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2020. – № 3. – С. 45–51. – EDN: HMI791.
20. Григорьев, С.В., Новиков, К.Л. Сравнительный анализ релейно-контакторных и программируемых систем управления промышленным оборудованием // Промышленная автоматика и контрольно-измерительные приборы. – 2021. – № 8. – С. 44–50. – EDN: VWX345.
21. Морозов, И.Г., Смирнова, Е.А. Типовой состав датчиков и исполнительных механизмов в автоматизированных линиях поверхностной обработки // Контроль. Диагностика. – 2021. – № 7. – С. 52–58. – EDN: SEN357.
22. Белов, К.Н. Аппаратные средства функциональной безопасности в системах управления металлорежущим и дробеструйным оборудованием // Промышленная безопасность. – 2021. – № 6. – С. 41–47. – EDN: SAF680.
23. Siemens AG. LOGO! — программируемые логические модули: каталог продукции [Электронный ресурс] // Siemens Industry Online Support. – 2024. URL: https://support.industry.siemens.com/cs/attachments/36051989/logo_system_manual_ru-RU_ru-RU.pdf (дата обращения: 29.04.2026).
24. ООО «ОВЕН». Программируемые контроллеры и логические реле: каталог продукции [Электронный ресурс] // Компания ОВЕН: контрольно-измерительные приборы и системы автоматизации. – 2026. – URL: <https://owen.ru/catalog/programmable-controllers> (дата обращения: 29.04.2026).

25. Siemens AG. Устройства плавного пуска SIRIUS 3RW52 / 3RW55: технический каталог и руководство по эксплуатации [Электронный ресурс] // Siemens Industry Online Support. – 2024. – URL: https://support.industry.siemens.com/cs/attachments/109753751/manual_softstarter_3RW52_ru-RU.pdf (дата обращения: 29.04.2026).

26. Magna Vel Электромагнитные (соленоидные) клапаны для промышленной автоматики: технический каталог [Электронный ресурс] // Magna Vel: pneumatic and hydraulic components. – 2024. – URL: <https://magnavel.com/catalog/solenoid-valves/> (дата обращения: 29.04.2026).

27. Senesa s.r.l. Трансформаторы тока измерительные серии ТТ-0,66: каталог и паспорт [Электронный ресурс] // Сенеса: приборы учёта и измерительные трансформаторы. – 2025. – URL: <https://senesa.ru/catalog/current-transformers/> (дата обращения: 29.04.2026).

ПРИЛОЖЕНИЕ А



Совершенство
продуманных
решений

Приложение 14
к приказу
от 30.11.2023 № 4300-П-1860/23

Утверждена
приказом
от 30.11.2023 № 4300-П-1860/23

АО "Чусовской металлургический завод"

Рессорное производство

АКТ

06.05.2026г. № 8

Приемки систем модернизации и автоматизации в эксплуатацию дробемётной установки №12

Комиссия в составе:

Председатель: Начальник Рессорного производства

А.В. Третьяков

Члены комиссии: Начальник отдела по техническому контролю

А.В. Беляев

Ведущий инженер по РиОО

А.И. Чальников

Мастер по ремонту электрооборудования

А.П. Курочкин

произвела приемку систем модернизации и автоматизации в эксплуатацию дробемётной установки №12 на предмет определения технического состояния и возможности дальнейшей эксплуатации.

В результате осмотра выявлено следующее:

1. Работоспособность цепей безопасности и интерфейса:

– Все цепи безопасности (аварийные стопы, блокировки дверей) исправны и проверены на разрыв.

– При срабатывании любого элемента защиты происходит корректный останов оборудования, а информация о конкретной причине срабатывания мгновенно выводится на панель оператора в виде текстового сообщения.

2. Соответствие программного обеспечения:

– Работа системы осуществляется строго в соответствии с заданным алгоритмом управления, включая автоматические циклы запуска, обработки и планового останова.

– Логические контроллеры (ПЛК) корректно обрабатывают сигналы датчиков; временные задержки и условия переходов между этапами цикла соответствуют проектным значениям.

3. Параметры технологического процесса:

– Интенсивность дробенаклепа проверена с использованием контрольных пластин (Almen-тест). Полученные значения соответствуют требованиям технологического процесса.

– Система автоматизации стабильно поддерживает заданное значение подачи дробы, что обеспечивает повторяемость результата обработки.

Заключение комиссии:

Система автоматизации дробемётной установки успешно прошла проверку по всем ключевым техническим параметрам, включая требования промышленной безопасности и качества выпускаемой продукции. Оборудование признано готовым к эксплуатации.

Председатель комиссии _____
подпись 06.05.26 А.В. Третьяков
расшифровка

Члены комиссии _____
подпись 06.05.26 А.В. Беляев
расшифровка

подпись 06.05.26 А.И. Чальников
расшифровка

подпись 06.05.26 А.П. Курочкин
расшифровка

ПРИЛОЖЕНИЕ Б



СЕРТИФИКАТ

Курочкин Антон Павлович

принял(-а) участие в
XV Всероссийской научно-практической
конференции «СОВРЕМЕННАЯ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ:
ПРОБЛЕМЫ, СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ»

21-22 ноября 2025 года

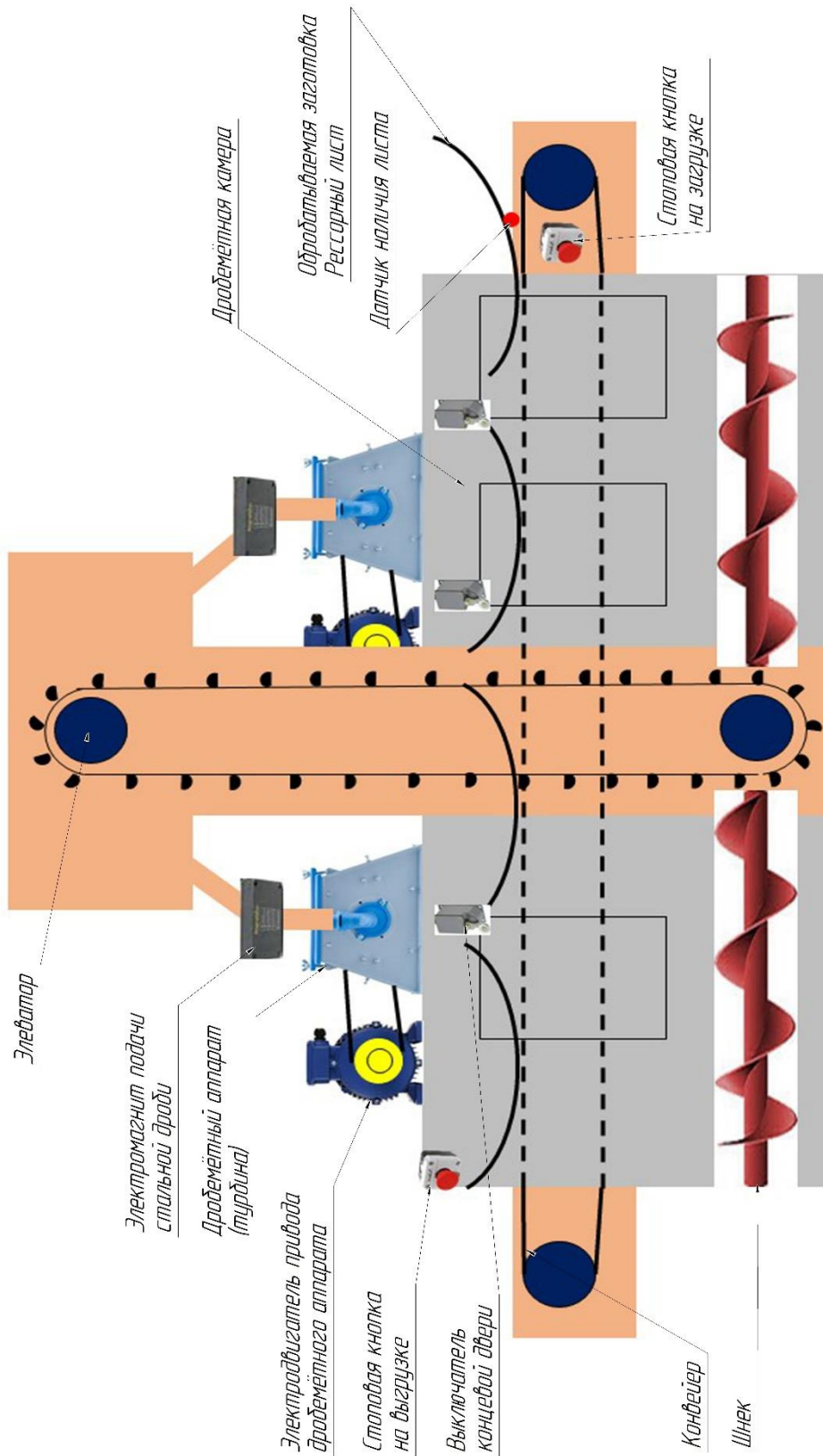
Директор РИИ АлтГТУ



А.В. Сорокин

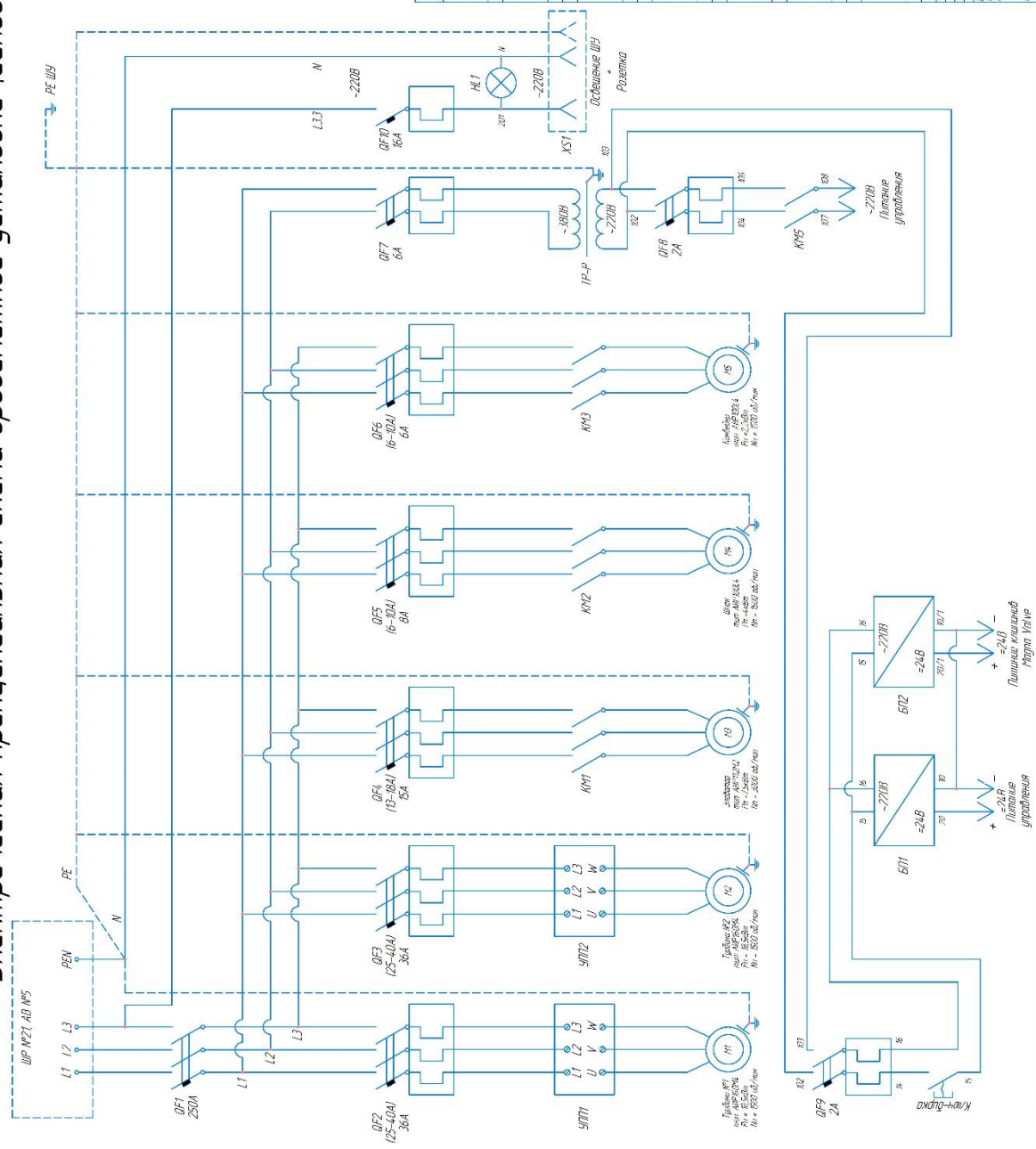


Визуальный макет дробемерной установки



ВМР 13.03.02 АЭЛ-21-Юаз 21-ЛФ-386	Лист 1	Эксп. № 12-000-12-000-000
Дробемерная установка	Лист 1	Эксп. № 12-000-12-000-000
Визуальный макет ЛФ ПИИТУ	Лист 1	Эксп. № 12-000-12-000-000

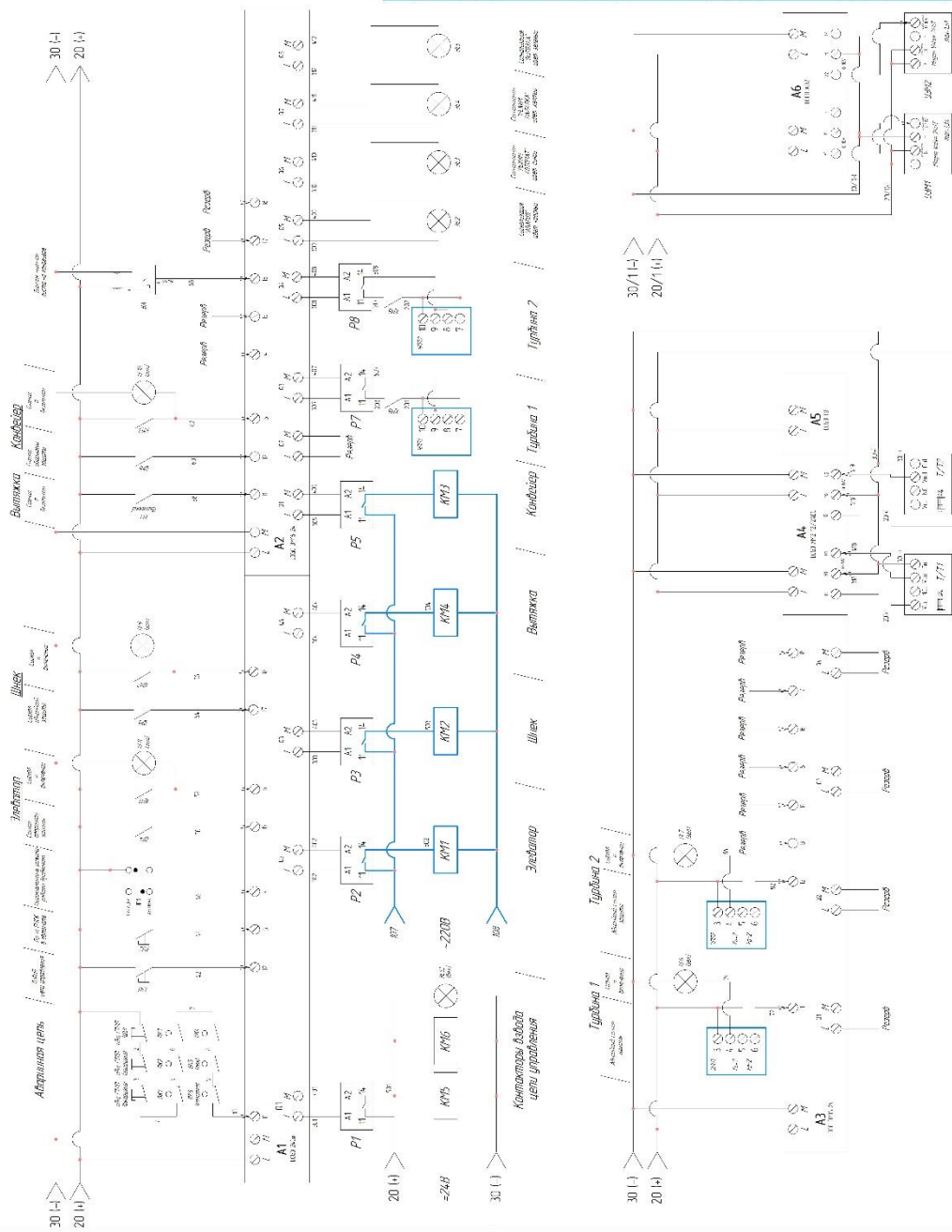
Электрическая принципиальная схема дробеёмной установки (силовая часть)



№ п/п	Обозначение	Наименование	№	Годовые планы
1	0F1	Абсолютная влажность 3.5-10.5-50.5-245-105-1000	1	
2	0F2, 0F3	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
3	0F4	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	3	
4	0F5, 0F6	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
5	0F7	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	1	
6	0F8, 0F9	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
7	0F10	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	1	
8	H1	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	1	
9	X51	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	1	
10	X51, X52	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
11	X51, X52, X53	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	3	
12	X54	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	1	
13	X55	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	1	
14	X56	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	1	
15	X57	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
16	X58	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
17	X59	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
18	X60	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
19	X61	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
20	X62	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
21	X63	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
22	X64	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
23	X65	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
24	X66	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
25	X67	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
26	X68	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
27	X69	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
28	X70	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
29	X71	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
30	X72	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
31	X73	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
32	X74	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
33	X75	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
34	X76	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
35	X77	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
36	X78	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
37	X79	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
38	X80	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
39	X81	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
40	X82	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
41	X83	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
42	X84	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
43	X85	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
44	X86	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
45	X87	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
46	X88	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
47	X89	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
48	X90	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
49	X91	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
50	X92	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
51	X93	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
52	X94	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
53	X95	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
54	X96	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
55	X97	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
56	X98	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
57	X99	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
58	X100	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
59	X101	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
60	X102	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
61	X103	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
62	X104	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
63	X105	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
64	X106	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
65	X107	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
66	X108	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
67	X109	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
68	X110	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
69	X111	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
70	X112	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
71	X113	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
72	X114	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
73	X115	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
74	X116	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
75	X117	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
76	X118	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
77	X119	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
78	X120	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
79	X121	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
80	X122	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
81	X123	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
82	X124	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
83	X125	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
84	X126	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
85	X127	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
86	X128	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
87	X129	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
88	X130	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
89	X131	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
90	X132	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
91	X133	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
92	X134	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
93	X135	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
94	X136	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
95	X137	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
96	X138	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
97	X139	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
98	X140	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
99	X141	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
100	X142	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
101	X143	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
102	X144	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
103	X145	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
104	X146	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
105	X147	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
106	X148	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
107	X149	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
108	X150	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
109	X151	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
110	X152	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
111	X153	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
112	X154	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
113	X155	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
114	X156	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
115	X157	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
116	X158	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
117	X159	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
118	X160	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
119	X161	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
120	X162	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
121	X163	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
122	X164	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
123	X165	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
124	X166	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
125	X167	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
126	X168	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
127	X169	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
128	X170	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
129	X171	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
130	X172	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
131	X173	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
132	X174	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
133	X175	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
134	X176	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
135	X177	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
136	X178	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
137	X179	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
138	X180	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
139	X181	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
140	X182	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
141	X183	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
142	X184	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
143	X185	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
144	X186	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
145	X187	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
146	X188	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
147	X189	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
148	X190	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
149	X191	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
150	X192	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
151	X193	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
152	X194	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
153	X195	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
154	X196	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
155	X197	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
156	X198	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
157	X199	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
158	X200	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
159	X201	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
160	X202	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
161	X203	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
162	X204	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
163	X205	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
164	X206	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
165	X207	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
166	X208	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
167	X209	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
168	X210	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
169	X211	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
170	X212	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
171	X213	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
172	X214	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
173	X215	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
174	X216	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
175	X217	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
176	X218	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
177	X219	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
178	X220	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
179	X221	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
180	X222	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
181	X223	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
182	X224	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
183	X225	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
184	X226	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
185	X227	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
186	X228	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
187	X229	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
188	X230	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
189	X231	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
190	X232	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
191	X233	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
192	X234	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
193	X235	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
194	X236	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
195	X237	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
196	X238	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
197	X239	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
198	X240	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
199	X241	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
200	X242	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	
201	X243	Абсолютная влажность 10-40-10-40-40-40-40	2	

Электрическая принципиальная схема дробеёмной установки (цель управления)

ЭЭ-ФН-12-039-14-01-2003.068



№	Обозначение	Наименование	Материал	Пункт
1	A1	Автоматический выключатель (АВ) с функцией	Автоматический выключатель (АВ) с функцией	1
2	A2, A3	Автоматический выключатель (АВ) с функцией	Автоматический выключатель (АВ) с функцией	2
3	A4	Автоматический выключатель (АВ) с функцией	Автоматический выключатель (АВ) с функцией	3
4	A5	Автоматический выключатель (АВ) с функцией	Автоматический выключатель (АВ) с функцией	4
5	A6	Автоматический выключатель (АВ) с функцией	Автоматический выключатель (АВ) с функцией	5
6	Общий стоп	Общий стоп	Общий стоп	6
7	ВКЛ. ВКЛ.	Включатель (ВКЛ.)	Включатель (ВКЛ.)	7
8	ВКЛ. ВКЛ.	Включатель (ВКЛ.)	Включатель (ВКЛ.)	8
9	ВКЛ. ВКЛ.	Включатель (ВКЛ.)	Включатель (ВКЛ.)	9
10	ВКЛ. ВКЛ.	Включатель (ВКЛ.)	Включатель (ВКЛ.)	10
11	ВКЛ. ВКЛ.	Включатель (ВКЛ.)	Включатель (ВКЛ.)	11
12	ВКЛ. ВКЛ.	Включатель (ВКЛ.)	Включатель (ВКЛ.)	12
13	ВКЛ. ВКЛ.	Включатель (ВКЛ.)	Включатель (ВКЛ.)	13
14	ВКЛ. ВКЛ.	Включатель (ВКЛ.)	Включатель (ВКЛ.)	14
15	ВКЛ. ВКЛ.	Включатель (ВКЛ.)	Включатель (ВКЛ.)	15
16	ВКЛ. ВКЛ.	Включатель (ВКЛ.)	Включатель (ВКЛ.)	16
17	ВКЛ. ВКЛ.	Включатель (ВКЛ.)	Включатель (ВКЛ.)	17

№	Обозначение	Наименование	Материал	Пункт
1	A1	Автоматический выключатель (АВ) с функцией	Автоматический выключатель (АВ) с функцией	1
2	A2, A3	Автоматический выключатель (АВ) с функцией	Автоматический выключатель (АВ) с функцией	2
3	A4	Автоматический выключатель (АВ) с функцией	Автоматический выключатель (АВ) с функцией	3
4	A5	Автоматический выключатель (АВ) с функцией	Автоматический выключатель (АВ) с функцией	4
5	A6	Автоматический выключатель (АВ) с функцией	Автоматический выключатель (АВ) с функцией	5
6	Общий стоп	Общий стоп	Общий стоп	6
7	ВКЛ. ВКЛ.	Включатель (ВКЛ.)	Включатель (ВКЛ.)	7
8	ВКЛ. ВКЛ.	Включатель (ВКЛ.)	Включатель (ВКЛ.)	8
9	ВКЛ. ВКЛ.	Включатель (ВКЛ.)	Включатель (ВКЛ.)	9
10	ВКЛ. ВКЛ.	Включатель (ВКЛ.)	Включатель (ВКЛ.)	10
11	ВКЛ. ВКЛ.	Включатель (ВКЛ.)	Включатель (ВКЛ.)	11
12	ВКЛ. ВКЛ.	Включатель (ВКЛ.)	Включатель (ВКЛ.)	12
13	ВКЛ. ВКЛ.	Включатель (ВКЛ.)	Включатель (ВКЛ.)	13
14	ВКЛ. ВКЛ.	Включатель (ВКЛ.)	Включатель (ВКЛ.)	14
15	ВКЛ. ВКЛ.	Включатель (ВКЛ.)	Включатель (ВКЛ.)	15
16	ВКЛ. ВКЛ.	Включатель (ВКЛ.)	Включатель (ВКЛ.)	16
17	ВКЛ. ВКЛ.	Включатель (ВКЛ.)	Включатель (ВКЛ.)	17