

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:

«Разработка проекта и внедрение автоматизации вытяжной вентиляции стана

320 АО Чусовской металлургический завод».

Студент: _____ М.С Абрамов
(подпись, дата)

Группа: АЭП-21-160з

Состав ВКР:

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

Руководитель: _____ ст. преподаватель В.А Комаренко
(подпись, дата)

Проверено

на наличие

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

Содержание

Введение.....	3
1.1 Анализ существующей системы управления и выявление недостатков	6
1.2 Цель работы и задачи исследования	10
1.3 Объект и предмет исследования.....	13
2.1 Разработка алгоритма работы системы и программы логического контроллера.....	16
2.2 Обоснование выбора и характеристика основных компонентов системы.....	20
2.3 Разработка функциональной и принципиальной электрической схем системы	28
3.1 Расчёт экономической эффективности внедрения системы	33
3.2 Разработка схемы расположения оборудования и обоснование размещения центрального шкафа управления.....	38
3.3 Модернизация цепей дистанционного управления и обеспечение селективного отключения вентиляторов	45
Заключение	49
Список использованных источников	54
Приложение А Программа логического контроллера	56
Приложение В Принципиальная электрическая схема.....	57
Приложение С Схема расположения оборудования	58

Введение

АО «Чусовской металлургический завод» — одно из старейших предприятий чёрной металлургии Урала, история которого насчитывает более ста сорока лет. Завод расположен в самом центре Уральского региона на берегу реки Чусовой, что изначально определило его экономическую специфику благодаря близости к сырьевым базам, энергетическим источникам и транспортным магистралям. Непосредственная близость к узловой железнодорожной станции обеспечивает надёжное сообщение со всеми регионами России и странами ближнего зарубежья. Основан в 1879 году Франко-Русским уральским акционерным обществом под руководством князя Голицына и французского предпринимателя Ш. Барруена, завод по тем временам считался одним из самых современных металлургических предприятий Урала. Одно из сохранившихся зданий той эпохи до сих пор стоит на территории завода и является памятником промышленной архитектуры начала XX века [1].

В годы Гражданской войны производство было практически уничтожено, но коллектив металлургов сумел в короткие сроки восстановить завод. В 1930 году правительство СССР приняло решение о специализации ЧМЗ на выпуске качественных сталей и проката, в том числе рессорной полосы для развивающейся отечественной автотракторной промышленности. В 1931 году на заводе была построена крупнейшая по тем временам доменная печь № 3 объёмом 280 кубических метров, а в 1935 году на ней начата опытная плавка ванадиевого чугуна. Уже через год Чусовой стал первым в стране предприятием, получившим отечественный феррованадий — ценнейший легирующий элемент для производства высококачественной стали [1].

В годы Великой Отечественной войны завод сыграл важную роль в обеспечении фронта. В 1943 году по решению Государственного Комитета Обороны за рекордно короткий срок — семь месяцев — была построена

доменная печь № 2-бис, что позволило втрое увеличить производство чугуна. В условиях военного времени осваивались новые марки качественной стали, выпускался броневой лист для танков, фугасные огнемёты, детали для легендарной «Катюши» и противотанковых пушек. Самоотверженный труд чусовских металлургов был высоко оценён: в 1943 году заводу вручено переходящее Красное Знамя, в 1944 году — благодарственная телеграмма И.В. Сталина, а многие работники награждены высокими правительственными наградами [1].

После войны завод продолжал развивать все основные переделы: доменный, сталеплавильный, прокатный и ферросплавный. В 1976 году по постановлению Совета Министров СССР на ЧМЗ построен крупнейший в Европе авторессорный цех, а в 1982 году чусовская рессора считалась самой дешёвой и качественной в стране. Сегодня АО «ЧМЗ» остаётся единственным предприятием в России с полным циклом производства феррованадия, используя уникальное титаномагнетитовое ванадийсодержащее сырьё. В 2013–2014 годах были остановлены и демонтированы устаревшие доменный и сталеплавильный переделы, запущена программа повышения эффективности, осваиваются новые виды продукции. Завод выпускает высококачественный среднесортной прокат, специальные профили для автомобилестроения, машиностроения, судостроения, ванадиевый чугун и рессорную продукцию, включая малолистовые параболические рессоры и рессоры из сталей пониженной прокаливаемости для всех марок отечественных автомобилей: КАМАЗ, ГАЗ, КРАЗ, ПАЗ, МАЗ, ЗИЛ, УРАЛ, УАЗ, ЛИАЗ, ЛАЗ и других [1].

Продукция ЧМЗ ориентирована на автозаводы, машиностроительные предприятия, строительные компании, заводы ЖБИ и домостроительные комбинаты. Металлопрокат (швеллер, балка, уголок) широко применяется в жилищном и промышленном строительстве. Специальные профили поставляются для производства колёс, ободьев, бортовых колец грузовых автомобилей марок КАМАЗ, БЕЛАЗ, УРАЛ, ГАЗ. Завод также производит

прокат для закладки шпал, профили для угольных конвейеров, полособульбы для судостроения и ножи для землеройных машин. Чусовские рессоры поставляются практически на всю автомобильную промышленность России, а с 2004 года все новые КАМАЗ, УРАЛ, УАЗ комплектуются только ими. В апреле 2021 года с конвейера завода сошла 100-миллионная рессора для флагманской модели КАМАЗ К5 [1].

Экспорт продукции осуществляется в Финляндию, Италию, Испанию, Германию, Китай, Иран, Южную Корею, Польшу, Швецию, Голландию, Францию, Монголию и страны СНГ. Динамичное развитие производства обеспечивается постоянной модернизацией технологий и оборудования. Завод является российским лидером по производству автомобильных рессор и феррованадия, занимает прочные позиции на рынке проката и продолжает укреплять свои позиции в условиях жёсткой конкуренции [1].

Современные тенденции развития промышленных предприятий идут в направлении цифровизации и автоматизации технологических процессов. Создаются системы, способные выполнять заданные функции без постоянного участия человека. Роль оператора сводится к подготовке исходных данных, выбору алгоритма и анализу результатов. Эти тенденции наблюдаются не только в сложных технологических процессах, но и во вспомогательных системах, таких как вентиляция, освещение, водоснабжение и энергоснабжение [2, 4].

В условиях роста тарифов на электроэнергию, ужесточения требований к энергоэффективности и необходимости сокращения эксплуатационных расходов предприятия всё чаще обращаются к автоматизации вспомогательных систем. Одной из таких систем на стане 320 является вытяжная вентиляция крышных вентиляторов. В настоящее время её управление осуществляется преимущественно вручную или с дистанционного пульта, что приводит к значительным потерям энергии, возможность высоких пусковых токов и повышенной нагрузке на персонал [3, 4]

1.1 Анализ существующей системы управления и выявление недостатков

В современных условиях развития металлургической промышленности, когда предприятия вынуждены постоянно повышать энергоэффективность производства, снижать эксплуатационные затраты и обеспечивать надёжность технологических процессов, вопросы автоматизации вспомогательных систем приобретают особую значимость. Одной из таких систем на среднесортном стане 320 АО «Чусовской металлургический завод» является система вытяжной вентиляции крышных вентиляторов, предназначенная для удаления дыма, паров горячего воздуха и технологических газов из-под кровли прокатного цеха. Без эффективно работающей вентиляции эксплуатация стана становится невозможной: накапливаются вредные вещества, ухудшаются условия труда, снижается производительность оборудования [1, 2].

На стане 320 установлено пятнадцать крышных вытяжных вентиляторов, каждый из которых оснащён асинхронным электродвигателем мощностью 11 кВт. В настоящее время запуск и остановка вентиляторов осуществляются в ручном режиме с пультов дистанционного управления (ПДУ), которые скомпонованы компактно в одном месте. Оператор вынужден последовательно включать и выключать каждый вентилятор вручную, соблюдая необходимые временные интервалы между пусками. Это требует постоянного внимания, отвлекает персонал от основных технологических операций и создаёт дополнительную психоэмоциональную нагрузку, особенно в условиях интенсивной работы стана [3].

Производственный процесс на стане характеризуется нестабильной подачей заготовки: металл идёт рывками, с длительными технологическими простоями. В периоды отсутствия заготовки на линии вентиляторы продолжают работать вхолостую, потребляя значительное количество электроэнергии без выполнения полезной функции. Согласно данным

хронометража, средняя продолжительность простоев составляет около 2 часов за одну 12-часовую смену. Суммарная мощность пятнадцати вентиляторов в номинальном режиме составляет 165 кВт, а с учётом работы вхолостую (коэффициент 0,65) — 107,25 кВт. За смену потери электроэнергии достигают 214,5 кВт·ч, а за год — порядка 141 570 кВт·ч. Это прямые финансовые потери, которые ложатся на себестоимость продукции [4].

Кроме того, ручное управление создаёт проблемы и при пуске вентиляторов. По инструкции операторы должны выдерживать интервал между включениями, чтобы избежать пиковых нагрузок на сеть. Однако в реальных условиях, особенно при необходимости быстро запустить вентиляцию после длительного простоя, этот интервал часто не соблюдается. Несколько вентиляторов запускаются почти одновременно, и суммарный пусковой ток может достигать 1200 А и выше. В таких случаях срабатывает защита — выбивает автоматический выключатель, а при частых повторениях автомат выходит из строя, требуя замены. Это создаёт дополнительные затраты на ремонт и снижает надёжность работы системы вентиляции [5].

Ещё одна важная проблема — отсутствие автоматической привязки управления вентиляцией к технологическому процессу. Оператор не всегда может мгновенно среагировать на окончание прокатки и отключить вентиляторы. В результате они продолжают работать в простое, потребляя энергию и изнашиваясь. Даже если оператор добросовестно подходит к своим обязанностям, он физически не может одновременно следить за технологическим процессом и управлять пятнадцатью вентиляторами с соблюдением всех временных интервалов. Человеческий фактор остаётся главной причиной неэффективной работы системы.

Таким образом, существующая система управления вытяжной вентиляцией стана 320 характеризуется следующими недостатками:

- ручное управление, требующее постоянного внимания оператора;

- отсутствие автоматического отключения вентиляторов при технологических простоях, что приводит к значительным потерям электроэнергии (до 141 570 кВт·ч в год);

- риск возникновения пиковых пусковых токов (до 1200 А) при нарушении временных интервалов, что ведёт к выходу из строя автоматических выключателей;

- повышенная нагрузка на персонал и вероятность ошибок, связанных с человеческим фактором.

Перечисленные недостатки существенно снижают энергоэффективность производства, увеличивают эксплуатационные расходы и создают риски для надёжной работы оборудования.

Внедрение автоматизированной системы управления на базе датчика наличия заготовки и логического контроллера позволяет решить эти проблемы комплексно. Система будет запускать вентиляторы последовательно с заданной выдержкой времени, полностью исключая пиковые пусковые токи и выход автоматов из строя. Она будет автоматически останавливать всю группу вентиляторов при длительном отсутствии металлозаготовки на линии, устраняя потери электроэнергии в простои. Кроме того, автоматизация централизует управление, снимая с оператора рутинную работу по ручному включению и отключению вентиляторов, и позволяет ему сосредоточиться на основных технологических задачах [6].

Такая реконструкция системы вытяжной вентиляции особенно актуальна в условиях постоянного роста тарифов на электроэнергию, ужесточения требований к энергоэффективности производства и необходимости повышения конкурентоспособности металлургических предприятий. Автоматизация вспомогательных систем, таких как вытяжная вентиляция, позволяет не только оптимизировать энергопотребление, но и высвободить человеческий ресурс для выполнения более

квалифицированных задач, что соответствует современным тенденциям цифровизации и автоматизации технологических процессов в промышленности [1, 4].

Таким образом, разработка и внедрение автоматизированной системы управления вытяжными вентиляторами стана 320 представляет собой актуальную и практически значимую задачу, решение которой способствует повышению энергоэффективности, надёжности и экономической эффективности производства на АО «ЧМЗ».

1.2 Цель работы и задачи исследования

Цель выпускной квалификационной работы заключается в разработке проекта автоматизированной системы управления асинхронными двигателями привода вытяжных вентиляторов среднесортного стана 320 АО «Чусовской металлургический завод» на базе программируемого логического контроллера, которая обеспечивает последовательный пуск двигателей по сигналу датчика наличия в стане металлозаготовки и автоматическое отключение при длительном простое линии.

Выбор именно такой цели обусловлен результатами анализа текущего состояния системы вытяжной вентиляции, проведённого в пункте 1.1. Ручное управление приводит к значительным потерям электроэнергии в периоды простоев, достигающим 141 570 кВт·ч в год, а также к преждевременному выходу из строя автоматических выключателей из-за несоблюдения временных интервалов при пуске, когда несколько двигателей запускаются почти одновременно и суммарный пусковой ток достигает 1200 А и выше. Автоматизация на базе компактного логического контроллера позволяет устранить эти недостатки с минимальными затратами, используя имеющиеся на складе завода материалы и не требуя замены силовых цепей [1, 4].

Для достижения поставленной цели в работе решается комплекс взаимосвязанных задач. В первую очередь необходимо провести детальный анализ существующей системы вытяжной вентиляции стана 320, включая её электрические схемы и принципы управления. Это требуется для того, чтобы определить возможные точки подключения автоматизации, понять логику работы штатных пультов ПДУ и шкафов ШСАУ, а также выявить основные недостатки — ручное управление, неэффективное использование электроэнергии в периоды простоев и срабатывание защиты автоматических выключателей из-за нарушения временных интервалов при пуске. На основе этого анализа предлагается решение, которое позволяет внедриться в

существующую систему с минимальными затратами, без замены силового оборудования и без перестройки уже работающих узлов.

Далее требуется изучить современный передовой опыт последовательного пуска асинхронных двигателей и автоматизации групп двигателей на базе микропроцессорных средств управления, чтобы выбрать наиболее рациональные технические решения, подходящие для условий металлургического производства.

Следующим этапом является обоснованный подбор основных компонентов системы. Необходимо выбрать датчик металлозаготовки НМД, интегрировать его с дискретным входом логического контроллера для надёжной фиксации начала и окончания прокатки. Также требуется подобрать сам контроллер, модули расширения, промежуточные реле и переключатели, которые будут использоваться в проекте. При этом важно учитывать наличие оборудования на складе завода, чтобы избежать дополнительных затрат на закупку и максимально использовать уже имеющиеся ресурсы предприятия.

Затем разрабатывается алгоритм работы системы и программа логического контроллера. Алгоритм должен включать каскадный пуск двигателей с заданной выдержкой времени между ступенями, блокировку повторного старта при отсутствии сигнала от датчика заготовки и автоматическое отключение всей группы вентиляторов по истечении установленного интервала простоя. Также необходимо реализовать функцию ручного принудительного пуска и аварийного останова для проведения наладочных работ и действий в нештатных ситуациях, причём ручные команды должны иметь высший приоритет над автоматическим режимом.

Параллельно с разработкой алгоритма составляется схемная документация. В работе должны быть созданы функциональная, принципиальная электрическая и монтажная схемы, управления от датчика через логический контроллер к контактному реле и ПДУ, а также схема

расположения оборудования, позволяющая оценить реальное размещение центрального шкафа управления и трассы кабелей.

Важной частью работы является расчёт экономической эффективности внедрения. Необходимо оценить снижение потерь электроэнергии в киловатт-часах и денежном выражении.

На заключительном этапе формулируются выводы о целесообразности и эффективности внедрения системы в условиях производства АО «Чусовской металлургический завод».

Решение перечисленных задач позволит не только устранить выявленные недостатки текущей системы, но и повысить энергоэффективность, надёжность и безопасность эксплуатации вытяжной вентиляции стана 320, что соответствует современным требованиям к автоматизации вспомогательных систем в металлургии [2, 3].

Ожидаемый результат от внедрения системы включает снижение энергопотребления в периоды простоев, что даёт годовую экономию электроэнергии около 573 000 рублей, исключение выхода из строя автоматических выключателей при пуске за счёт точного соблюдения временных интервалов, сокращение времени и трудозатрат операторов на управление вентиляторами, а также продление срока службы коммутационной аппаратуры за счёт более мягких пусковых режимов.

1.3 Объект и предмет исследования

Объектом исследования является существующая система управления вытяжной вентиляции среднесортного стана 320 АО «Чусовской металлургический завод» (АО «ЧМЗ»).

Вытяжная вентиляция представляет собой одну из важнейших инженерных систем любого промышленного предприятия, особенно в металлургии, где технологические процессы сопровождаются выделением большого количества тепла, дыма, пара, окалины и вредных газов. Эта система предназначена для организованного удаления загрязнённого воздуха из производственных помещений с целью создания безопасных и комфортных условий труда, поддержания нормальной температуры и влажности в рабочей зоне, а также предотвращения накопления вредных веществ и технологических газов, которые могут представлять угрозу для здоровья персонала и нормальной работы оборудования. В условиях прокатного цеха, где температура в зоне нагревательной печи достигает нескольких сотен градусов Цельсия, а при прокатке металла выделяется значительное количество горячего воздуха, пара и мелкодисперсной пыли, вытяжная вентиляция выполняет несколько критически важных функций: она обеспечивает постоянный отвод продуктов горения; технологических испарений и избыточного тепла из-под кровли цеха; предотвращает перегрев металлических конструкций здания и технологического оборудования; защищает работающий персонал от воздействия вредных производственных факторов; таких как повышенная температура, угарный газ, оксиды азота и взвешенные частицы, способствует строгому соблюдению требований санитарно-гигиенических норм, промышленной безопасности и охраны труда. Без эффективно работающей вытяжной вентиляции эксплуатация прокатного стана становится практически невозможной, поскольку быстрое накопление жара, вредных веществ и пыли приводит к резкому ухудшению условий труда, снижению производительности оборудования, повышению

аварийности и даже к вынужденным остановкам технологического процесса для устранения последствий перегрева или отравления персонала. Именно поэтому вытяжная вентиляция считается одной из ключевых вспомогательных систем любого прокатного производства, и её надёжная работа напрямую влияет на общую эффективность, безопасность и экономические показатели предприятия [1, 2, 3, 4].

На стане 320 система вытяжной вентиляции реализована с использованием пятнадцати крышных вентиляторов, каждый из которых оснащён асинхронным электродвигателем мощностью 11 кВт (номинальное напряжение 380 В, частота сети 50 Гц, синхронная частота вращения 1500 об/мин). Каждый электродвигатель механически соединён с крышным осевым вентилятором, который обеспечивает принудительную вытяжку воздуха из зоны цеха. Вентиляторы распределены по всей длине стана: три агрегата установлены непосредственно над зоной нагревательной печи, где наблюдается наибольшая концентрация дыма и самая высокая температура, пять — вдоль черновой прокатной линии, семь — вдоль чистовой линии и в хвостовой части стана (над рольгангами, кассетами и участками охлаждения проката) [1, 5].

Каждый вентилятор оснащён индивидуальным шкафом управления (ШСАУ 201–215), в которых размещены электромагнитные пускатели (контакторы), тепловые реле защиты от перегрузки, кнопки местного управления «Пуск» и «Стоп», сигнальные лампы состояния. Существует возможность дистанционного управления всей группой с пультов дистанционного управления (ПДУ), которые скомпонованы компактно в одном месте (у поста оператора или в зоне начала черновой линии). Однако запуск и остановка каждого двигателя по-прежнему требуют ручного последовательного включения оператором с обязательной выдержкой времени между ступенями. Питание электродвигателей осуществляется от общего цехового распределительного щита на напряжение 380 В через

понижающий трансформатор, далее по шинопроводам и отдельным кабельным линиям к каждому шкафу управления [2, 5].

Схема управления остаётся преимущественно ручной с элементами дистанционного управления, без автоматического учёта фактического наличия или отсутствия металлозаготовки на прокатной линии. В результате возникают значительные потери электроэнергии в периоды технологических простоев: вентиляторы продолжают работать вхолостую, потребляя мощность, близкую к номинальной. Кроме того, при ручном пуске операторы часто не выдерживают требуемый интервал между включениями, из-за чего несколько вентиляторов запускаются почти одновременно. Это приводит к пиковым пусковым токам, которые могут вызывать срабатывание защиты и выход из строя автоматических выключателей. Также оператор физически не может мгновенно среагировать на окончание прокатки и отключить вентиляторы, поэтому они продолжают работать в простои, потребляя энергию и изнашиваясь. Указанные недостатки существенно снижают общую энергоэффективность производства, увеличивают эксплуатационные расходы предприятия и создают дополнительные риски для надёжной работы всего технологического оборудования стана 320 [1, 3, 4].

Предметом исследования являются методы и средства автоматизации последовательного пуска и отключения группы асинхронных двигателей вытяжных вентиляторов на базе логического контроллера, позволяющие исключить человеческий фактор из процесса управления, снизить потери электроэнергии в периоды простоев и предотвратить выход из строя коммутационной аппаратуры при пуске.

2.1 Разработка алгоритма работы системы и программы логического контроллера

Разрабатываемая система автоматизации управления вытяжными вентиляторами стана 320 предназначена для решения нескольких важных задач: обеспечения последовательного пуска пятнадцати крышных вентиляторов мощностью 11 кВт каждый, автоматического отключения всей группы при длительном отсутствии металлозаготовки на линии, а также предоставления оператору возможности ручного управления для проведения наладочных работ и работы в аварийных ситуациях.

Основная идея алгоритма заключается в том, чтобы вентиляторы включались только при реальном технологическом процессе (при наличии горячей заготовки на рольганге) и автоматически отключались во время технологических простоев. Такой подход позволяет существенно сократить непроизводительное потребление электроэнергии, снизить пусковые токи в цеховой сети и уменьшить износ коммутационной аппаратуры.

Алгоритм работы системы в автоматическом режиме реализован следующим образом. После подачи питания на контроллер система переходит в состояние ожидания. При прохождении горячей заготовки датчик контроля наличия металлозаготовки HMD формирует выходной сигнал. Этот сигнал через цепочку промежуточных реле K2 (катушка 24 В) и K1 (катушка 230 В) поступает на дискретный вход I1 контроллера, что соответствует логической единице. По факту появления сигнала на входе I1 запускается процедура последовательного пуска двигателей вентиляторов.

Первый таймер T1 с выдержкой времени 15 секунд включает выход Q1, запуская первый вентилятор. Одновременно с этим запускается следующий таймер T2, который по истечении 15 секунд включает выход Q2 и запускает третий таймер. Таким образом, с интервалом в 15 секунд последовательно включаются все 15 вентиляторов. Для управления пятнадцатью вентиляторами к базовому контроллеру подключены модули расширения

DM16 230R (16 выходов) и DM8 230R (8 выходов), что обеспечивает достаточное количество выходов Q1–Q15 с запасом на резервные каналы. Если сигнал от датчика HMD сохраняется, все вентиляторы продолжают работать в штатном режиме.

Обоснование выбора временных параметров. Выдержка времени между последовательным включением вентиляторов, равная 15 секундам, выбрана на основе анализа технических характеристик асинхронных двигателей мощностью 11 кВт. Согласно каталожным данным [7], время затухания пускового тока до значения, близкого к номинальному, составляет 3–4 секунды. Дополнительный резерв в 1–2 секунды гарантирует полное завершение переходного процесса в питающей сети и исключает суммирование пусковых токов двух соседних вентиляторов. Более короткая задержка (например, 2–3 секунды) не обеспечивает достаточного снижения пускового тока предыдущего двигателя, а более длинная задержка (40 секунд и более) неоправданно увеличивает общее время выхода системы на рабочий режим, что может привести к накоплению дыма и газов в рабочей зоне в начальный период прокатки. Таким образом, задержка в 15 секунд является оптимальным компромиссом между электротехнической безопасностью и технологической эффективностью.

В случае прекращения подачи заготовки сигнал на входе I1 исчезает, и контроллер запускает таймер простоя продолжительностью 15 минут. Выбор данного временного интервала обоснован инерционностью системы вентиляции и санитарно-гигиеническими требованиями. После последней заготовки из рабочей зоны в объёме цеха остаются нагретые воздушные массы, дым и технологические газы, для удаления которых требуется дополнительное время. Согласно СанПиН 1.2.3685-21 [9], период дымоудаления для прокатных цехов не должен превышать 15–30 минут. Назначение таймера простоя равным 15 минутам обеспечивает полную очистку воздуха в рабочей зоне к моменту остановки вентиляторов, одновременно предотвращая их необоснованную работу вхолостую при

длительных простоях. Если в течение этого времени заготовка не появляется, все выходы Q1–Q15 одновременно сбрасываются, и вентиляторы останавливаются. При появлении заготовки до истечения времени таймера простоя таймер сбрасывается автоматически, и система продолжает работу без остановки вентиляторов. Новый цикл пуска начинается только после полной остановки всех вентиляторов, причём пуск всегда осуществляется с первой ступени (вентилятор №1). Данное решение исключает несинхронное включение вентиляторов и гарантирует предсказуемость работы системы.

Для повышения гибкости эксплуатации предусмотрен ручной режим управления. Кнопка «Пуск группы», подключённая к входу I2, позволяет оператору принудительно запустить полный цикл последовательного пуска независимо от показаний датчика HMD. Кнопка «Стоп группы» (вход I3) обеспечивает мгновенное аварийное отключение всех вентиляторов. Обе ручные команды имеют высший приоритет. Важно отметить, что при ручном пуске группы таймер простоя (15 минут) не активируется, поскольку вентиляторы включаются принудительно независимо от наличия заготовки. Однако после ручного останова или при последующем автоматическом режиме таймер начинает отсчёт в штатном порядке. Данное решение исключает ложное отключение вентиляторов при длительной работе в ручном режиме, например, при наладке или проведении ремонтных работ.

Программа логического контроллера полностью разработана в программной среде LOGO! Soft Comfort с использованием языка функциональных блоков (FBD). Основным элементом программы является RS-триггер, который фиксирует факт наличия или отсутствия сигнала от датчика металлозаготовки. Выход триггера управляет каскадом таймеров и выходными реле. Программа также содержит блоки, реализующие приоритет ручных команд и защиту от ложных срабатываний.[6]

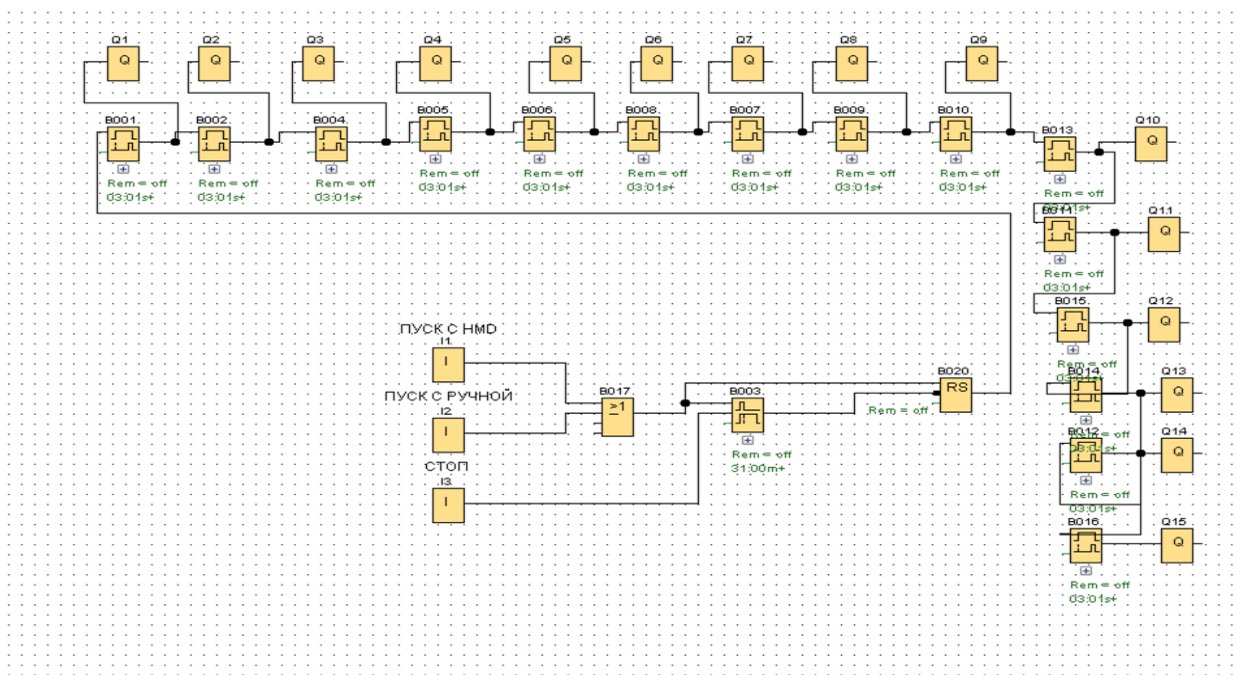


Рисунок 1— Программа логического контроллера Siemens LOGO!
230RCE, реализованная в среде LOGO! Soft Comfort

На рисунке.1 представлена полная функциональная блок-диаграмма (FBD) разработанной программы. На схеме чётко видны входы I1 (сигнал от НМД), I2 (ручной пуск), I3 (ручной стоп), RS-триггер, каскад таймеров, а также выходы Q1–Q15, управляющие контакторами вентиляторов.

Программа успешно прошла тестирование в режиме симуляции. В процессе тестирования проверены следующие сценарии: появление сигнала от датчика НМД и последовательный пуск всех вентиляторов; исчезновение сигнала и повторное появление в течение 15 минут (таймер сбрасывается); длительное отсутствие сигнала более 15 минут (все выходы отключаются); ручной пуск группы при отсутствии сигнала от датчика; ручной останов группы в любой момент работы. Во всех случаях поведение системы соответствовало заданному алгоритму.

Разработанный алгоритм и программа логического контроллера полностью соответствуют поставленным задачам, обеспечивают высокую надёжность работы системы и позволяют достичь значительного энергосберегающего эффекта.

2.2 Обоснование выбора и характеристика основных компонентов системы

При разработке автоматизированной системы управления вытяжными вентиляторами стана 320 был выполнен тщательный подбор и технико-экономическое обоснование всех основных компонентов. Выбор каждого элемента производился на основании анализа условий эксплуатации в прокатном цехе, требований технологического процесса, наличия оборудования на складе завода, а также необходимости обеспечения высокой надёжности, ремонтпригодности и минимальных затрат на внедрение системы.

Особенностью данного проекта является максимальное использование оборудования, уже имеющегося на складе АО «Чусовской металлургический завод». Такой подход, во-первых, позволяет свести к минимуму финансовые затраты на реализацию системы, поскольку отпадает необходимость в закупке новых дорогостоящих компонентов. Во-вторых, использование знакомого персоналу оборудования сокращает время на обучение и пусконаладочные работы. В-третьих, наличие запасных частей на складе гарантирует высокую ремонтпригодность системы в случае отказа любого из элементов. Ниже представлено подробное обоснование выбора каждого компонента с учётом перечисленных критериев.

В качестве основного устройства управления был выбран программируемый логический контроллер Siemens LOGO! 230RCE серии LOGO! 8. Данное решение принято после рассмотрения функциональных возможностей различных компактных контроллеров. LOGO! 230RCE обладает оптимальным сочетанием характеристик для решения поставленной задачи: он питается непосредственно от сети 230 В, что исключает необходимость в отдельном блоке питания; имеет 8 дискретных входов (4 из которых могут работать в аналоговом режиме), 4 релейных выхода с коммутационной способностью до 10 А, встроенные таймеры, счётчики, RS-

триггеры и возможность расширения до 24 входов и 20 выходов через модули расширения (в проекте используются модули DM16 230R и DM8 230R). Контроллер оснащён встроенным дисплеем с подсветкой и клавиатурой, что позволяет выполнять программирование, мониторинг и диагностику непосредственно на объекте без подключения компьютера — это особенно ценно при оперативном поиске неисправностей в условиях цеха. Важным фактором выбора стало наличие на предприятии обученного персонала, имеющего практический опыт работы с контроллерами данной серии, а также наличие лицензионного программного обеспечения LOGO! Soft Comfort и запасных частей на складе. Диапазон рабочих температур контроллера от -20 до $+55$ градусов Цельсия гарантирует его стабильную работу в условиях прокатного цеха без дополнительного принудительного охлаждения. Кроме того, контроллер имеет сертификаты соответствия стандартам электромагнитной совместимости (EN 61000-6-2, EN 61000-6-3), что подтверждает его устойчивость к промышленным помехам [6]. Все перечисленные факторы в совокупности существенно снижают сроки внедрения и затраты на обучение и обслуживание системы в будущем.

Для надёжного обнаружения горячей металлозаготовки на рольганге черновой линии выбран инфракрасный фотодетектор Danieli Automation ID2202. Выбор именно этого датчика обусловлен несколькими важными причинами. Во-первых, он уже предусмотрен в проектной документации стана 320 и был поставлен компанией Danieli вместе с основным технологическим оборудованием. Во-вторых, его технические характеристики полностью соответствуют условиям эксплуатации: диапазон регистрации инфракрасного излучения 850–1700 нм, два режима чувствительности (450 °C и 650 °C), время отклика менее 0,3 мс, степень защиты IP66 и рабочий диапазон температур от -40 до $+70$ °C. Степень защиты IP66 означает полную пыленепроницаемость и защиту от сильных струй воды, что критически важно для работы в условиях прокатного цеха, где возможны как обильное пылевыведение, так и попадание воды при

гидросбиве окалины. Датчик обладает высокой устойчивостью к электромагнитным помехам (искры, работа сварочных аппаратов, коммутация мощных электродвигателей) и к засветке посторонними источниками света, включая солнечное излучение, что подтверждено сертификационными испытаниями производителя [7,8]. Использование уже имеющегося на складе датчика позволило полностью исключить затраты на его приобретение и обеспечить гарантированную совместимость с технологическим процессом.

Гальваническая развязка сигнала от датчика до входа контроллера выполнена в два уровня с помощью промежуточных электромеханических реле, физически размещённых в разных шкафах. Первое реле К2 с катушкой 24 В постоянного тока (Finder 40.31 или аналог) устанавливается в распределительном шкафу RIO 01, поскольку именно в этом шкафу имеется источник питания 24 В и расположены клеммы подключения датчика HMD. Второе реле К1 с катушкой 230 В переменного тока (Finder 55.32 или аналог) устанавливается в центральном шкафу автоматики, рядом с контроллером LOGO!. Контакт реле К2 (находящегося в RIO 01) замыкает цепь питания 230 В, которая подаётся на катушку реле К1 в центральном шкафу. Контакт реле К1, в свою очередь, подаёт сигнал 230 В непосредственно на вход I1 контроллера. Такое разделение обусловлено тем, что сигнальная линия от датчика HMD до RIO 01 имеет длину около 40 метров и проходит через зону с интенсивными электромагнитными помехами, а линия между RIO 01 и центральным шкафом (также около 40 метров) передаёт уже более мощный сигнал 230 В, менее чувствительный к помехам. Двойная гальваническая развязка надёжно защищает чувствительные входы контроллера от импульсных помех и наводок, характерных для металлургического производства. Такое техническое решение значительно превышает требования ПУЭ по гальванической развязке цепей управления и является примером сознательного завышения надёжности для особо ответственных применений [2]. Выбор данных реле обоснован их наличием в большом

количестве на складе прокатного стана, низкой стоимостью, достаточной коммутационной способностью (до 8 А у Finder 40.31 и до 16 А у Finder 55.32) и проверенной надёжностью в условиях вибрации и запылённости. Двойная гальваническая развязка надёжно защищает чувствительные входы контроллера от импульсных помех и наводок, характерных для металлургического производства, и соответствует требованиям ПУЭ и норм промышленной безопасности. В случае выхода реле из строя его замена может быть выполнена оперативно из имеющегося запаса без остановки системы и без перепрограммирования контроллера.

Для управления всеми пятнадцатью вентиляторами к контроллеру подключены модули расширения выходов DM16 230R (16 выходов) и DM8 230R (8 выходов), которые в сумме обеспечивают 24 дискретных выхода. Выбор именно двух модулей, а не одного большего, обусловлен их наличием на складе завода: модуль DM16 230R и модуль DM8 230R оказались в наличии, а модуль DM24 230R отсутствовал. Комбинированное использование двух модулей не ухудшает технических характеристик системы: оба модуля имеют релейные выходы с коммутационной способностью до 10 А (резистивная нагрузка) и до 3 А (индуктивная нагрузка), что вполне достаточно для управления пусковыми кнопками шкафов ШСАУ 201–215, потребляющими не более 0,5 А. Оба модуля крепятся на DIN-рейку рядом с базовым контроллером и соединяются с ним через встроенную шину, что обеспечивает единое адресное пространство выходов (Q1–Q24). Данное техническое решение позволило реализовать каскадный пуск без применения большого количества внешних промежуточных реле, сохранить компактность центрального шкафа управления (габариты шкафа не превышают 800×600×300 мм) и упростить монтажные и пусконаладочные работы.

Ручное управление системой осуществляется с помощью двухуровневого переключателя EKF BD33 с короткой рукояткой и двумя нормально разомкнутыми контактами (2NO, тип XB2-BD33), установленного

на лицевой панели центрального шкафа. Данный переключатель имеет два положения, каждому из которых соответствует замыкание определённой контактной группы. Один контакт переключателя выполняет функцию «Пуск группы» и подключён к входу I2 контроллера, другой контакт выполняет функцию «Стоп группы» и подключён к входу I3 контроллера. При повороте рукоятки в одно из фиксированных положений замыкается соответствующий контакт, подавая сигнал на вход контроллера. Выбор двухуровневого переключателя, а не двух отдельных кнопочных постов, обусловлен несколькими причинами. Во-первых, он занимает меньше места на лицевой панели шкафа, что важно при ограниченной площади. Во-вторых, фиксация рукоятки в каждом положении исключает случайное срабатывание от вибрации — в отличие от кнопок с самовозвратом, которые могут сработать при случайном касании или тряске. В-третьих, оператору достаточно одного движения для выбора режима (пуск или стоп), что упрощает управление в стрессовых ситуациях. Двухуровневая конструкция обеспечивает чёткую тактильную обратную связь и защиту от ложных срабатываний, что особенно важно в условиях металлургического цеха с высоким уровнем вибрации и запылённости. Обе ручные команды (пуск и стоп) имеют высший приоритет над автоматическим режимом и реализуются через логический элемент OR в программе контроллера. Цветовая маркировка выполнена в соответствии с общепринятыми стандартами: красный цвет рукоятки или маркировка красным соответствуют останову, чёрный или зелёный — пуску. Применение стандартной цветовой гаммы снижает вероятность ошибок оператора в стрессовых ситуациях и не требует дополнительного обучения персонала. Коммутируемая способность контактов переключателя EKF BD33 составляет 10 А при напряжении 230 В переменного тока, что с большим запасом превышает ток, потребляемый входными цепями контроллера (менее 0,01 А на каждый вход). Такое соотношение гарантирует высокую надёжность и длительный срок службы контактов даже при интенсивной эксплуатации системы.

Таким образом, все основные компоненты системы подобраны с учётом реальных производственных условий, максимального использования складских ресурсов предприятия и обеспечения высокой эксплуатационной надёжности. Применение оборудования, уже имеющегося на складе АО «ЧМЗ», позволило выполнить проект реконструкции с минимальными финансовыми затратами и в максимально короткие сроки.

При проектировании системы управления вытяжными вентиляторами стана 320 выполнен сравнительный анализ трёх альтернативных вариантов комплектации по каждому ключевому компоненту. Результаты сравнения сведены в таблицу 1.

Таблица 1 — Сравнение альтернативных вариантов системы

Компонент	Вариант 1 (выбранный)	Вариант 2	Вариант 3	Основные критерии выбора
Логический контроллер	Siemens LOGO! 230RCE	ОВЕН ПЛК110-220	Eaton EasyE4	Надёжность, удобство диагностики, наличие опыта у персонала, расширяемость
Питание	230 В	230 В	24 В + БП	Экономия на дополнительном оборудовании
Встроенный дисплей	Есть	Нет	Есть	Удобство наладки и мониторинга
Опыт эксплуатации на заводе	Значительный, основная политика компании Siemens	Ограниченный	Отсутствует	Снижение времени внедрения и обучения
Датчик металлозаготовки	Danieli Automation ID2202	Пирометр «Терра-200»	Фотореле F&F PR-11T	Надёжность в условиях цеха, степень защиты
Степень защиты	IP66	IP65 (требуется охлаждение)	IP54	Работа в запылённости и высокой температуре
Наличие на складе завода	Есть (уже установлен)	Нет	Нет	Отсутствие дополнительных затрат
Промежуточные реле	Finder 40.31 (24 В) + Finder 55.32 (230 В)	Omron G2R-1 + Schneider RXM	РЭК77 + РЭК78	Наличие запаса на складе, цена, надёжность

Продолжение таблица 1

Опыт эксплуатации на заводе	Имеется на складе, имеется номенклатура	Ограниченный	Отсутствует	Снижение времени внедрения и обучения
-----------------------------	---	--------------	-------------	---------------------------------------

Как видно из таблицы 1, выбранный вариант по большинству критериев превосходит альтернативы.

Технико-экономическое обоснование принятых решений:

По контроллеру: Siemens LOGO! 230RCE выбран как наиболее предпочтительный вариант благодаря наличию встроенного дисплея, удобному интерфейсу программирования и значительному практическому опыту эксплуатации на предприятии. Кроме того, на АО «ЧМЗ» сложилась политика преимущественного использования оборудования Siemens, вся система автоматизации стана 320 построена на контроллерах этой марки, персонал обучен работе именно с ними. Другие бренды (ОВЕН, Eaton) на предприятии практически не применяются, и их использование потребовало бы дополнительного обучения, перестройки инфраструктуры и закупки запасных частей. Вариант ОВЕН ПЛК110 хотя и дешевле, но не имеет встроенного дисплея, что заметно усложняет процесс диагностики и наладки непосредственно в цехе. Вариант Eaton EasyE4 требует приобретения дополнительного блока питания и не имеет подготовленного персонала, что увеличивает как стоимость, так и сроки внедрения.

По датчику металлозаготовки: Danieli Automation ID2202 был выбран в первую очередь потому, что он уже установлен и успешно эксплуатируется на стане 320. Его высокая степень защиты IP66, широкий температурный диапазон и отличная помехозащищённость делают его оптимальным для работы в условиях прокатного цеха. Альтернативные решения либо требуют дополнительных систем охлаждения и защиты, либо имеют недостаточную надёжность в условиях сильной запылённости и высоких температур.

По промежуточным реле: Выбраны реле серии Finder (40.31 и 55.32), поскольку они уже имеются в большом количестве на складе прокатного

стана. Это обеспечивает оперативную замену в случае отказа без остановки производства. Данные реле обеспечивают надёжную двойную гальваническую развязку и полностью соответствуют требованиям промышленной безопасности.

По модулям расширения: Siemens DM16 230R и DM8 230R выбраны благодаря их наличию на складе завода. Комбинация двух модулей обеспечивает 24 выхода, что с большим запасом покрывает потребность в 15 выходах для управления вентиляторами.

Ручное управление системой осуществляется стандартными переключателем «Пуск группы» и «Стоп группы», установленными на лицевой панели центрального шкафа. Кнопки подключены непосредственно к входам I2 и I3 контроллера и имеют приоритет над автоматическим режимом.

Таким образом, проведённый сравнительный анализ и технико-экономическое обоснование показали, что выбранный комплект компонентов является наиболее рациональным решением. Он обеспечивает требуемый уровень технической надёжности и функциональности при минимальном вмешательстве в существующую инфраструктуру цеха и максимальном использовании внутренних ресурсов завода. Это позволяет выполнить проект реконструкции в короткие сроки, с минимальными финансовыми затратами и с высокой степенью ремонтпригодности системы в условиях непрерывного металлургического производства.

2.3 Разработка функциональной и принципиальной электрической схем системы

Разработка схемной документации являлась одним из наиболее важных и ответственных этапов проектной части выпускной квалификационной работы. В процессе проектирования были созданы две основные схемы: функциональная схема системы (описана словесно в данном разделе) и принципиальная электрическая схема (представлена на рисунке 2). Эти схемы представляют собой фундаментальные проектные документы, которые позволяют наглядно и полно отразить структуру автоматизированной системы управления вытяжными вентиляторами стана 320, проследить все пути прохождения сигналов от первичного датчика до исполнительных устройств, а также обеспечить правильное выполнение монтажных работ, проведение пусконаладочных испытаний и дальнейшую безопасную эксплуатацию оборудования в реальных условиях металлургического производства.

Функциональная схема системы в графическом виде не приводится ввиду её очевидности и простоты, однако логическая структура системы, которую должна отображать функциональная схема, описывается следующим образом. Система состоит из пяти основных функциональных блоков, соединённых в порядке прохождения сигнала управления.

Первый блок — датчик металлозаготовки Danieli Automation ID2202, выступающий в качестве первичного источника информации о наличии горячей заготовки на рольганге черновой линии. Датчик установлен на кронштейне над рольгангом на высоте 1–2 метра и направлен в зону прохождения проката. При регистрации инфракрасного излучения от заготовки (температура выше 450 °С) датчик формирует выходной сигнал PNP-типа (24 В постоянного тока), который поступает на второй блок.

Второй блок — цепь двойной гальванической развязки, включающая два промежуточных реле: K2 с катушкой 24 В постоянного тока (Finder

40.31) и K1 с катушкой 230 В переменного тока (Finder 55.32). Данная цепь предназначена для надёжной защиты чувствительных входов контроллера от импульсных электромагнитных помех, характерных для металлургического цеха. Сигнал от датчика замыкает катушку реле K2, контакты реле K2 замыкают катушку реле K1, а контакты реле K1 подают сигнал 230 В на вход контроллера. Два последовательных реле создают двойной барьер для помех, практически полностью исключая ложные срабатывания.

Третий блок — программируемый логический контроллер Siemens LOGO! 230RCE с подключёнными к нему модулями расширения DM16 230R и DM8 230R. Контроллер принимает сигналы от датчика через цепь гальванической развязки на вход I1, а также сигналы ручного управления (входы I2 и I3 от переключателя EKF BD33). Внутри контроллера по разработанной программе (рисунок 1) происходит обработка сигналов: запуск каскада таймеров, формирование последовательности включения выходов Q1–Q15, контроль времени простоя, приоритизация ручных команд над автоматическим режимом.

Четвёртый блок — выходные цепи контроллера и модулей расширения. Выходы Q1-Q15 через клеммные колодки центрального шкафа управления подключаются последовательно к двухпозиционным переключателям с фиксацией Schneider Electric XB7ND21, установленным на пультах дистанционного управления (ПДУ) взамен штатных кнопок «Пуск». От переключателей сигнал идёт далее по штатной схеме ПДУ на катушки контакторов в шкафах ШСАУ 201-215. Каждый выход управляет одним вентилятором.

Пятый блок — исполнительные устройства: контакторы (электромагнитные пускатели) в шкафах ШСАУ 201–215. При подаче напряжения от контроллера через замкнутый переключатель XB7ND21 на пульте ПДУ катушка контактора получает питание, её силовые контакты замыкаются, подключая трёхфазное напряжение 380 В к электродвигателю вентилятора мощностью 11 кВт. При снятии напряжения контактор

размыкается, и двигатель останавливается. Тепловые реле, встроенные в шкафы ШСАУ, обеспечивают защиту двигателей от перегрузки по току

Дополнительно в состав системы входит блок ручного управления и индикации: двухуровневый переключатель EKF BD33 (положения «Пуск» и «Стоп») и сигнальная лампа L2 «Заготовка». Сигнальная лампа подключена к выходу контроллера или непосредственно к цепи датчика и информирует оператора о наличии заготовки в стане, что позволяет контролировать работу системы дистанционно.

Таким образом, функционально система построена по иерархическому принципу «датчик — логика — исполнительное устройство», что обеспечивает высокую надёжность, простоту диагностики и возможность модернизации.

Принципиальная электрическая схема разработана с высокой степенью детализации и предназначена непосредственно для выполнения электромонтажных работ, пусконаладки и последующего обслуживания системы. На ней подробно отражены все конкретные электрические соединения, включая:

- цепи питания контроллера Siemens LOGO! 230RCE и модулей расширения от сети 230 В через автоматический выключатель Q1 (2А, характеристика С);
- подключение датчика HMD Danieli Automation ID2202 через промежуточные реле K2 и K1 с указанием всех клемм и маркировки проводов;
- все дискретные входы и выходы контроллера с полной маркировкой;
- выходные цепи от контактов модулей расширения DM16 230R и DM8 230R к пультам дистанционного управления вентиляторами ШСАУ 201–215;

- цепи ручного управления с двухуровневым переключателем ЕКР BD33 (входы I2 и I3) и индикацией наличия заготовки (лампа L2);
- защитные аппараты, заземление и маркировку всех проводников.

Принципиальная электрическая схема системы управления вытяжными вентиляторами стана 320 представлена на рисунке 2.

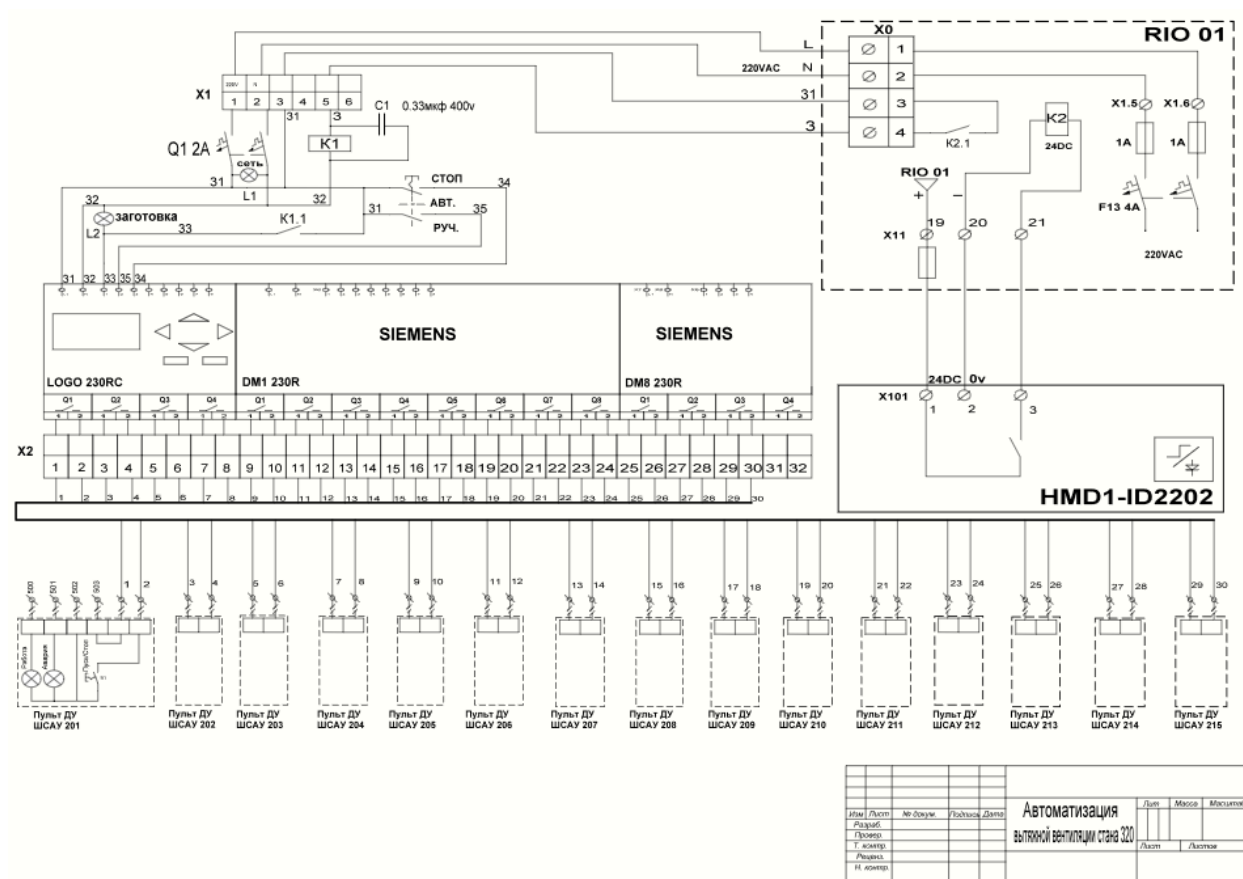


Рисунок 2 — Принципиальная электрическая схема системы управления вытяжными вентиляторами стана 320

На представленной схеме чётко видно, как сигнал от датчика HMD1-ID2202 поступает на реле K2, установленное в шкафу RIO 01. Контакт реле K2 замыкает цепь питания 230 В, подавая напряжение на катушку реле K1, расположенного в центральном шкафу автоматики. Контакт реле K1, в свою очередь, подаёт сигнал на вход I1 контроллера LOGO! 230RCE. Такая двухуровневая схема обеспечивает надёжную гальваническую развязку и защиту входа контроллера от помех. Контроллер через модули расширения DM16 230R и DM8 230R управляет выходами Q1–Q15, которые

подключены к пультам дистанционного управления (ПДУ), а от них — по штатной схеме к шкафам ШСАУ 201–215. Также на схеме показаны цепи ручного управления (переключатель на входах I2 и I3) и индикации состояния сети и наличия заготовки (лампа L1, L2). Важно отметить, что управляющие сигналы от контроллера подаются на штатные клеммы дистанционного управления существующих шкафов ШСАУ 201–215, то есть силовые цепи вентиляторов не подвергаются изменениям. Это обеспечивает минимальное вмешательство в существующую инфраструктуру и возможность ручного управления вентиляторами при отключении автоматики или проведении ремонтных работ.

При разработке обеих схем особое внимание уделялось вопросам электромагнитной совместимости оборудования, соблюдению требований промышленной безопасности, удобству дальнейшего технического обслуживания и возможности перспективного расширения системы в будущем. Все схемы выполнены в строгом соответствии с требованиями ГОСТ Р 21.1101-2013, Правилами устройства электроустановок (ПУЭ-7) и действующими отраслевыми нормами металлургического производства [2, 6].

Разработка функциональной и принципиальной электрической схем позволила полностью описать структуру и принцип действия автоматизированной системы, исключить возможные ошибки на этапе монтажа, обеспечить соответствие всем нормативным требованиям и создать надёжную основу для практической реализации проекта на стане 320. Созданные схемы будут использоваться при выполнении монтажных работ, проведении пусконаладочных испытаний и дальнейшей эксплуатации системы.

3.1 Расчёт экономической эффективности внедрения системы

Одним из важнейших критериев оценки целесообразности внедрения любой автоматизированной системы является её экономическая эффективность. В рамках данной выпускной квалификационной работы был выполнен подробный расчёт ожидаемого экономического эффекта от внедрения разработанной системы автоматизации управления вытяжными вентиляторами стана 320. Расчёт проводился с учётом реальных условий эксплуатации оборудования, технологических особенностей стана и данных о продолжительности простоев, полученных в результате анализа текущей системы управления.

Основной источник экономии электроэнергии. Основной источник экономии заключается в автоматическом отключении всех пятнадцати вентиляторов во время технологических простоев линии, когда заготовка отсутствует. В настоящее время при ручном управлении вентиляторы часто продолжают работать вхолостую, потребляя значительную мощность без выполнения полезной работы. Согласно данным наблюдений, средняя продолжительность таких простоев составляет около 2 часов за одну 12-часовую смену. Номинальная мощность одного вентилятора равна 11 кВт, следовательно, суммарная номинальная мощность всей группы вентиляторов составляет 165 кВт.

Однако следует учитывать, что при работе вентилятора вхолостую (без интенсивного воздушного тракта или при закрытых заслонках) потребляемая мощность меньше номинальной. Для осевых вентиляторов типа, используемого на стане 320, режим холостого хода характеризуется потреблением мощности на 30–40 % ниже номинальной. Принимая для расчёта коэффициент снижения мощности в режиме холостого хода равным 0,65 (то есть 65 % от номинальной мощности), получаем, что суммарная потребляемая мощность всей группы вентиляторов в холостом режиме составляет $165 \text{ кВт} \times 0,65 = 107,25 \text{ кВт}$.

Расчёт годовых потерь электроэнергии. При средней длительности простоя 2 часа за смену потребление электроэнергии пятнадцатью вентиляторами в режиме холостого хода за одну смену составляет:

$$107,25 \text{ кВт} \times 2 \text{ ч} = 214,5 \text{ кВт} \cdot \text{ч}. \quad (1)$$

При двухсменном режиме работы и 330 рабочих днях в году годовое потребление электроэнергии вхолостую составляет:

$$214,5 \text{ кВт} \cdot \text{ч} \times 2 \text{ смены} \times 330 \text{ дней} = 141\,570 \text{ кВт} \cdot \text{ч}. \quad (2)$$

Расчёт реальной экономии электроэнергии. После внедрения автоматизированной системы вентиляторы будут отключаться автоматически при отсутствии сигнала от датчика НМД в течение 15 минут. Однако часть технологических пауз между заготовками может быть короче 15 минут, и в этих случаях таймер не успевает досчитать до отключения, то есть вентиляторы продолжают работать. Принимая во внимание реальную статистику технологического процесса (согласно данным хронометража, порядка 10 % от общего времени простоев составляют короткие паузы менее 15 минут), реальная экономия электроэнергии составит около 90 % от рассчитанных годовых потерь:

$$141\,570 \text{ кВт} \cdot \text{ч} \times 0,9 = 127\,413 \text{ кВт} \cdot \text{ч в год}. \quad (3)$$

Расчёт экономии в денежном выражении. Средневзвешенный тариф на электроэнергию для АО «Чусовской металлургический завод» (по данным бухгалтерии предприятия) составляет 4,5 рубля за 1 кВт·ч (с учётом НДС). Тогда годовая экономия электроэнергии в денежном выражении составит:

$$127\,413 \text{ кВт} \cdot \text{ч} \times 4,5 \text{ руб/кВт} \cdot \text{ч} = 573\,358,5. \quad (4)$$

Руб., что округлённо составляет 573 000 рублей в год.

Дополнительный положительный эффект достигается за счёт последовательного пуска двигателей с выдержкой времени 15 секунд между ступенями. Такой режим позволяет снизить пиковый пусковой ток в сети с 2640 А (при одновременном пуске пятнадцати двигателей) до 176 А (при последовательном пуске), то есть в 15 раз. Снижение пиковых токов приводит к значительному уменьшению динамических нагрузок на

коммутационную аппаратуру (контакторы и тепловые реле) и к снижению потерь электроэнергии в трансформаторе и кабельных линиях. В результате увеличивается срок службы пускателей и снижаются затраты на их ремонт и замену.

Оценка затрат на внедрение.

Сметная стоимость оборудования и материалов, необходимых для реализации системы, составляет 88 500 рублей.

Монтажные и пусконаладочные работы выполнялись штатными сотрудниками предприятия — бригадой из двух электромонтёров 4-го разряда. Затраты на оплату труда рассчитаны в соответствии с действующей на предприятии тарифной системой. Часовая тарифная ставка 1-го разряда принята равной 375 руб/час, тарифный коэффициент для 4-го разряда — 2,5. Общая трудоёмкость работ составила 32 человеко-часа (два человека, две смены по 8 часов). Тарифный фонд заработной платы составил 30 000 рублей. С учётом премии (30 %) основная заработная плата составила 39 000 рублей. Дополнительная заработная плата (15 %) — 5 850 рублей.

Начисления на социальные нужды (34 %) — 15 249 рублей, обязательное страхование от несчастных случаев (0,69 %) — 310 рублей. Общепроизводственные расходы приняты в размере 120 % от основной заработной платы (46 800 рублей), общехозяйственные расходы — 160 % (62 400 рублей).

Общие затраты на монтаж и пусконаладку составили 169 609 рублей.

При годовой экономии электроэнергии 573 000 рублей срок окупаемости составляет:

Таблица 2 — Смета затрат на внедрение системы

Наименование затрат	Сумма, руб.
Оборудование и материалы	88 500
Основная заработная плата (2 чел., 4-й разряд, с премией 30 %)	39 000
Дополнительная заработная плата (15 % от основной)	5 850
Отчисления на социальные нужды (34 %)	15 249
Страхование от несчастных случаев (0,69 %)	310
Общепроизводственные расходы (120 % от основной зарплаты)	46 800
Общехозяйственные расходы (160 % от основной зарплаты)	62 400
Итого затраты на монтаж и пусконаладку	169 609
ВСЕГО затраты на внедрение	258 109

Общие затраты на внедрение проекта (оборудование и работы) составляют:

$$88\,500 + 169\,609 = 258\,109 \text{ рублей.} \quad (5)$$

Срок окупаемости:

$$258\,109 / 573\,000 \times 12 \approx 5,4 \text{ месяца.} \quad (6)$$

Начиная с этого момента система приносит предприятию чистую экономию.

Социально-экономический эффект. Автоматизация управления позволяет снизить нагрузку на обслуживающий персонал. В настоящее время оператор вынужден контролировать работу вентиляторов с местных пультов, расположенных в одном месте, однако из-за отсутствия автоматики управление часто сводится к однократному включению вентиляторов в начале смены и отключению в конце. Ручной режим не учитывает фактическое наличие заготовки на линии, что и приводит к основным потерям электроэнергии. После внедрения системы оператор освобождается

от необходимости отслеживать и вручную управлять вентиляторами, что снижает его усталость, уменьшает риск ошибок и позволяет сосредоточиться на основных технологических операциях. Данный эффект не подлежит прямому денежному исчислению в рамках данного расчёта, однако является важным социальным и эргономическим преимуществом системы.

Суммарный годовой экономический эффект. С учётом выполненных расчётов, общие затраты на внедрение системы (оборудование и работы) составили 258 109 рублей. При годовой экономии электроэнергии 573 000 рублей срок окупаемости составляет около 5,4 месяца. Начиная с этого момента система приносит предприятию чистую экономию в размере 573 000 рублей в год.

Таким образом, внедрение разработанной автоматизированной системы управления вытяжными вентиляторами стана 320 является не только технически обоснованным, но и экономически целесообразным решением. Общие затраты на внедрение (оборудование и работы) составили 258 109 рублей. При годовой экономии электроэнергии 573 000 рублей срок окупаемости составляет около 5,4 месяца. Начиная с этого момента система приносит предприятию чистую экономию. Проект позволяет существенно снизить эксплуатационные затраты, повысить энергоэффективность производства и улучшить условия труда обслуживающего персонала, что полностью соответствует современным требованиям к автоматизации вспомогательных систем в металлургической отрасли.

3.2 Разработка схемы расположения оборудования и обоснование размещения центрального шкафа управления

Важной частью проектных решений стала разработка схемы расположения нового оборудования и обоснование места установки центрального шкафа автоматики. Это позволило определить оптимальное пространственное размещение системы, рассчитать длины питающих кабелей и обеспечить минимальное вмешательство в существующую инфраструктуру стана 320.

Обоснование выбора места установки центрального шкафа управления. Центральный шкаф автоматики устанавливается в непосредственной близости от существующих пультов дистанционного управления (ДПУ) вентиляторами стана 320, которые расположены компактно в одном месте (у поста оператора или в зоне начала черновой линии). Такое размещение выбрано по нескольким причинам. Во-первых, это обеспечивает минимальную длину управляющих кабелей от контроллера до пультов ДПУ, что снижает потери напряжения и риск наводок. Во-вторых, обеспечивается удобный доступ оператора к органам ручного управления без необходимости перемещения по цеху. В-третьих, упрощается монтаж и последующее обслуживание системы.

Схема расположения оборудования и центрального шкафа управления представлена на рисунке 3.

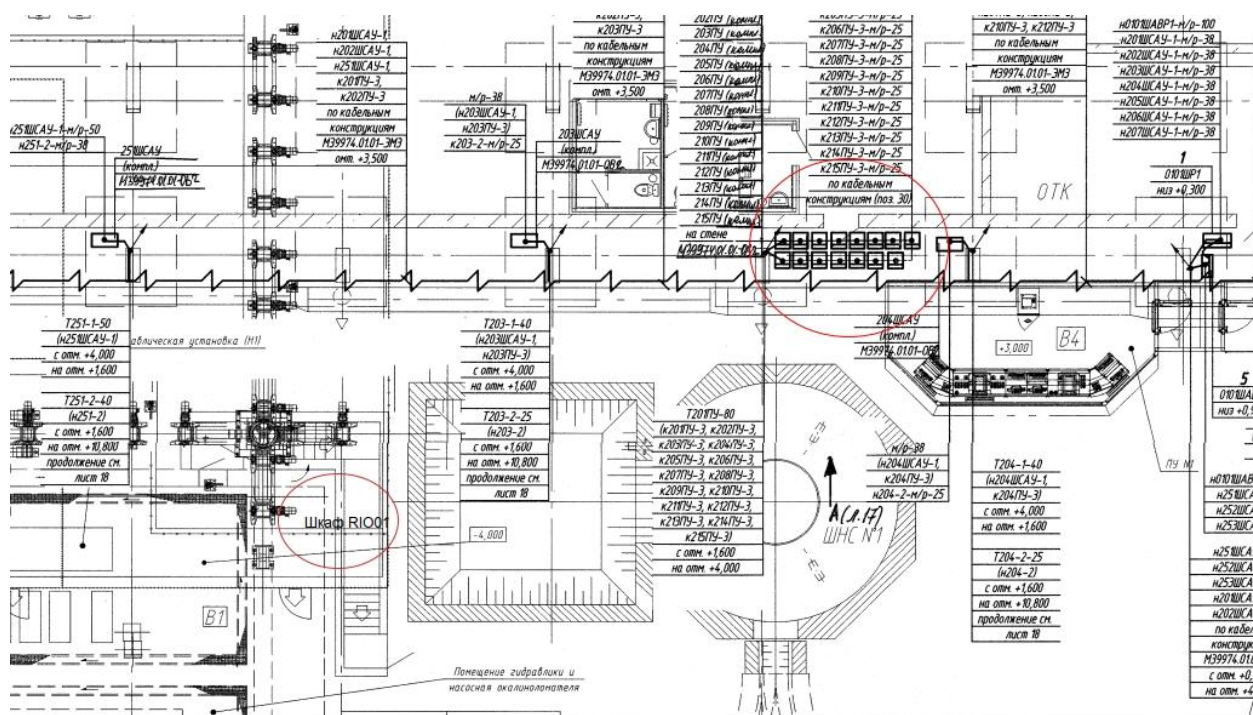


Рисунок 3 – Схема расположения оборудования и центрального шкафа управления на стане 320

Питание центрального шкафа управления. Питание 230 В для контроллера и модулей расширения подаётся от распределительного шкафа RIO 01, который является одним из основных источников питания вспомогательных систем стана. В шкафу RIO 01 установлен автоматический выключатель F13 номиналом 4 А, предназначенный для питания цепей автоматизации. От этого автомата прокладывается кабель (фаза L, ноль N, защитное заземление PE) до центрального шкафа автоматики. Длина питающего кабеля составляет 40 метров, сечение выбрано 1,5 мм².

Расчёт питающего кабеля центрального шкафа управления. Для проверки достаточности выбранного сечения медного кабеля 1,5 мм² длиной 40 метров был выполнен расчёт максимального рабочего тока и потери напряжения. Суммарный номинальный ток нагрузки $I_{\text{ном}}$ включает токи следующих устройств: контроллер Siemens LOGO! 230RCE (не более 0,2 А), два модуля расширения DM16 230R и DM8 230R (по 0,1 А, суммарно 0,2 А),

промежуточное реле K1 (0,02 А), лампа индикации HL1 (0,02 А), резерв на расширение (0,2 А). Суммарный ток составляет:

$$I_{\text{ном}} = 0,2 + 0,2 + 0,02 + 0,02 + 0,2 = 0,64 \text{ А.} \quad (7)$$

С учётом пусковых бросков принимается коэффициент запаса $K_{\text{зап}} = 1,5$. Максимальный расчётный ток:

$$I_{\text{макс}} = I_{\text{ном}} \times K_{\text{зап}} = 0,64 \times 1,5 = 0,96 \text{ А.} \quad (8)$$

Таким образом, максимальный ток не превышает 1 А, что значительно ниже допустимого тока для кабеля сечением 1,5 мм² (19 А для открытой прокладки). Падение напряжения в кабеле длиной 40 метров (с учётом прямого и обратного провода) рассчитывается по формуле:

$$R_{\text{линии}} = (R_{\text{уд}} \times (L \times 2)) / 1000, \quad (9)$$

где $R_{\text{уд}} = 12,1 \text{ Ом/км}$ — удельное сопротивление медного провода сечением 1,5 мм²; $L = 40 \text{ м}$ — длина кабеля. Подстановка значений даёт:

$$R_{\text{линии}} = (12,1 \times 80) / 1000 = 0,968 \text{ Ом.} \quad (10)$$

Падение напряжения:

$$\Delta U = I_{\text{макс}} \times R_{\text{линии}} = 1 \times 0,968 = 0,97 \text{ В.} \quad (11)$$

В процентах от номинального напряжения 230 В:

$$\Delta U_{\%} = (0,97 / 230) \times 100 \% \approx 0,42 \%. \quad (12)$$

Полученное значение потери напряжения (0,42 %) значительно ниже допустимых 5 % по Правилам устройства электроустановок (ПУЭ-7), что подтверждает правильность выбора сечения 1,5 мм².

Организация сигнала от датчика металлозаготовки. Датчик HMD Danieli Automation ID2202 установлен над рольгангом в начале черновой линии и формирует выходной сигнал 24 В постоянного тока при наличии горячей заготовки. Этот сигнал поступает в шкаф RIO 01 на катушку промежуточного реле K2 (Finder 40.31, катушка 24 В DC).

Для передачи сигнала в центральный шкаф автоматики используется следующая схема. Из центрального шкафа фаза 230 В (взятая от того же автомата F13) возвращается обратно в шкаф RIO 01 и подаётся на нормально разомкнутый контакт реле K2 (K2.1). С выхода этого контакта фаза

возвращается в центральный шкаф и поступает на катушку промежуточного реле K1 (Finder 55.32, катушка 230 В AC). Второй конец катушки K1 подключается к нулю N.

Таким образом, при срабатывании реле K2 (сигнал от датчика HMD) замыкается его контакт K2.1, и фаза 230 В через этот контакт подаётся на катушку реле K1. Реле K1 срабатывает, и его нормально разомкнутый контакт K1.1 замыкается, подавая фазу 230 В на вход I1 программируемого логического контроллера LOGO! 230RCE. Появление фазы на входе I1 соответствует для контроллера логической единице — наличию заготовки в стане.

Предложенная схема обеспечивает двойную гальваническую развязку сигнала от датчика до контроллера. Первая ступень (реле K2 в RIO 01) изолирует цепь датчика (24 В) от остальной схемы. Вторая ступень (реле K1 в центральном шкафу) изолирует вход контроллера от возможных помех, прошедших через первую ступень. Между шкафами передаётся только «сухой» контактный сигнал (замыкание цепи фазы через контакт K2.1), что исключает перенос высокого напряжения или помех.

Организация управляющих сигналов на пульты ДПУ. Выходы контроллера Q1–Q15 (через модули расширения DM16 230R и DM8 230R) подключаются непосредственно к пультам дистанционного управления (ДПУ), расположенным рядом с центральным шкафом автоматики. Длина соединительных перемычек составляет 1–3 метра.

На каждом пульте ДПУ установлен двухпозиционный переключатель Schneider Electric XB7ND21 с фиксацией, имеющий один нормально разомкнутый контакт (1НО). Этот переключатель включён последовательно в цепь управления от выхода контроллера до катушки контактора в шкафу ШСАУ. При положении переключателя «Включено» цепь замкнута, и сигнал с контроллера (при его наличии) проходит на контактор, запуская вентилятор. При положении «Отключено»

цепь разомкнута, и вентилятор не может быть запущен даже при наличии управляющего сигнала с контроллера.

Таким образом, переключатель выполняет функцию физического разрешения работы вентилятора. Автоматика (контроллер) продолжает работать в штатном режиме и выдавать команды, но до контактора эти команды доходят только тогда, когда переключатель замкнут. Такое решение позволяет оперативно отключать неисправный вентилятор без остановки всей системы, проводить его обслуживание и ремонт, а также гибко настраивать состав работающих вентиляторов в зависимости от технологической ситуации (например, при прокатке коротких заготовок часть вентиляторов в хвостовой части стана может быть отключена). Штатные шкафы ШСАУ 201–215 при этом не претерпевают никаких изменений — все переключения выполняются на уровне пультов ДПУ.

Роль шкафа RIO 01 в разработанной системе. В предлагаемой схеме шкаф RIO 01 выполняет три функции: источник питания 230 В для центрального шкафа автоматики (через автомат F13 на 4 А); место установки реле K2 (24 В), принимающего сигнал от датчика HMD и обеспечивающего первую ступень гальванической развязки; коммутационный узел для возврата фазы через контакт реле K2 на катушку реле K1. Коммутация управляющих сигналов на пульты ДПУ и далее на вентиляторы производится напрямую из центрального шкафа автоматики, без участия RIO 01.

В процессе монтажа центрального шкафа автоматики на стане 320 была выявлена следующая проблема. При подаче питания на систему, когда сигнал от датчика HMD отсутствовал (реле K2 в шкафу RIO 01 было обесточено, его контакт K2.1 разомкнут), катушка промежуточного реле K1 (230 В) в центральном шкафу периодически самопроизвольно срабатывала. Это приводило к ложному появлению сигнала на входе I1 контроллера, что могло вызвать ошибочный запуск алгоритма последовательного пуска вентиляторов.

Анализ показал, что причиной ложных срабатываний является наводка, возникающая на питающем кабеле длиной 40 метров. Кабель сечением 1,5 мм² (фаза L, ноль N) прокладывался в существующих кабельных каналах вместе с силовыми цепями других механизмов стана. Электромагнитные помехи от работающих рядом мощных электродвигателей, частотных преобразователей и сварочного оборудования наводили паразитное напряжение на жилах кабеля, достаточное для притяжения якоря реле K1 с чувствительной катушкой на 230 В.

Для устранения данной проблемы было принято техническое решение: подключить конденсатор параллельно катушке реле K1. Конденсатор выбран типа К78-2 или аналогичный с ёмкостью 0,33 мкФ и номинальным напряжением 400 В. Принцип действия заключается в том, что конденсатор шунтирует катушку реле по переменному току, подавляя импульсные помехи и высокочастотные наводки. При этом для постоянного напряжения (или для переменного тока промышленной частоты 50 Гц) конденсатор обладает высоким сопротивлением и не влияет на нормальную работу реле. Ёмкость 0,33 мкФ выбрана экспериментально как достаточная для подавления наводок без увеличения времени срабатывания и отпускания реле более чем на допустимую величину. Номинальное напряжение 400 В выбрано с двойным запасом относительно рабочего напряжения 230 В.

Данное решение позволило полностью исключить ложные срабатывания реле K1 и обеспечило надёжную работу системы. Конденсатор установлен непосредственно на клеммы катушки реле K1 в центральном шкафу автоматики (рисунок 2, позиция C1). Схема подключения конденсатора приведена на рисунок 2.

Такой подход является стандартной практикой при борьбе с наводками в цепях управления промышленных систем автоматизации, когда катушка реле находится на значительном удалении от источника питания [16, с. 24].

Преимущества предложенного технического решения. Разработанная схема подключения обладает следующими достоинствами: минимальные

затраты на монтаж (отсутствует необходимость прокладки новых длинных кабельных трасс); использование существующей инфраструктуры управления (шкафы ШСАУ не переделываются); двойная гальваническая развязка надёжно защищает контроллер от электромагнитных помех; все цепи управления сосредоточены в центральном шкафу у пультах ДПУ, расположенных компактно, что облегчает диагностику и обслуживание; реализовано физическое разрешение работы каждого вентилятора — оператор может отключить любой вентилятор поворотом переключателя на пульте ДПУ, не вмешиваясь в работу автоматики.

3.3 Модернизация цепей дистанционного управления и обеспечение селективного отключения вентиляторов

Центральный шкаф автоматики, в котором установлены программируемый логический контроллер Siemens LOGO! 230RCE, модули расширения DM16 230R и DM8 230R, а также промежуточное реле гальванической развязки K1 с катушкой 230 В переменного тока, размещается в непосредственной близости от существующих пультов дистанционного управления (далее — ПДУ) вентиляторами стана 320. Второе промежуточное реле гальванической развязки K2 с катушкой 24 В постоянного тока установлено в распределительном шкафу RIO 01, поскольку именно в этом шкафу имеется источник питания 24 В и расположены клеммы подключения датчика металлозаготовки HMD. Контакт реле K2 (в RIO 01) замыкает цепь питания 230 В, которая подаётся на катушку реле K1 в центральном шкафу, а контакт реле K1 подаёт сигнал на вход I1 контроллера. Такое разделение обусловлено необходимостью надёжной защиты чувствительного входа контроллера от электромагнитных помех, характерных для металлургического цеха.

Питание на центральный шкаф автоматики подаётся от распределительного шкафа RIO 01 по кабелю длиной 40 метров сечением $4 \times 1,5$ мм² (расчёт приведён в разделе 2.5). Управляющие сигналы от контроллера (выходы Q1–Q15) через клеммные колодки центрального шкафа поступают непосредственно на переключатели с фиксацией, установленные на пультах ПДУ взамен штатных кнопок «Пуск». А уже с этих переключателей сигнал идёт далее по штатной схеме ПДУ на катушки контакторов в шкафах ШСАУ 201–215. Такая архитектура позволяет врезаться в существующие цепи управления без переделки силовых цепей и без прокладки новых кабельных трасс большой протяжённости.

На существующих пультах ПДУ, расположенных непосредственно у стана 320 и подключаемых к шкафам ШСАУ 201–215, в настоящее время

установлены кнопки «Пуск» с пружинным самовозвратом. При нажатии такой кнопки её контакт замыкается, а после отпускания возвращается в исходное разомкнутое состояние. Для устойчивой работы контактора в штатной схеме используется либо постоянное удержание кнопки оператором, либо схема самоподхвата на вспомогательных контактах контактора. Однако оба варианта имеют существенные недостатки. В первом случае оператор вынужден постоянно находиться у пульта и удерживать кнопку, что неудобно и физически утомительно. Во втором случае схема самоподхвата требует дополнительных соединений и усложняет монтаж, а при кратковременном пропадании питания контактор отключается и не восстанавливается автоматически. Кроме того, при вибрации, характерной для металлургического цеха, возможно ложное срабатывание кнопки или нарушение контакта в цепи самоподхвата.

В рамках предлагаемой модернизации штатная кнопка «Пуск» на каждом пульте ПДУ демонтируется и заменяется на двухпозиционный переключатель с фиксацией Schneider Electric XB7ND21, имеющий одну нормально разомкнутую контактную группу (1НО). Переключатель устанавливается в то же монтажное отверстие (диаметр 22 мм) и подключается к тем же клеммам, что и штатная кнопка. В положении «Пуск» контакт переключателя замкнут постоянно, в положении «Стоп» — разомкнут. Фиксация положения исключает случайное срабатывание от вибрации, а оператор всегда визуально контролирует состояние управления по положению рукоятки переключателя.

Принцип работы модернизированной цепи управления заключается в последовательном соединении двух независимых контактов: выхода контроллера (Q1–Q15) и переключателя с фиксацией, установленного на пульте ПДУ. В нормальном рабочем режиме оператор переводит переключатель на пульте ПДУ в положение «Пуск», его контакт замыкается и остаётся замкнутым. Далее управление вентилятором полностью осуществляется контроллером: при срабатывании алгоритма (поступлении

сигнала от датчика НМД через цепь гальванической развязки на вход П1) соответствующий выход Qx замыкается, цепь управления оказывается замкнутой, и катушка контактора в шкафу ШСАУ получает питание, включая вентилятор. Когда программа контроллера даёт команду на отключение (например, после 15 минут отсутствия сигнала от датчика), выход Qx размыкается, цепь разрывается, и вентилятор останавливается. При этом переключатель на пульте ПДУ остаётся в положении «Пуск», но вентилятор не работает, так как выход контроллера разомкнут. Такая схема позволяет полностью сохранить функцию автоматического управления, возложенную на контроллер. Если оператору необходимо принудительно отключить вентилятор (например, при выходе его из строя, появлении постороннего шума, нагреве подшипников или проведении ремонтных работ), он переводит переключатель на пульте ПДУ в положение «Стоп», тем самым размыкая цепь управления независимо от состояния выхода контроллера. В этом случае даже если контроллер выдаёт команду на включение, вентилятор не запустится. Это свойство используется и для селективного (выборочного) отключения отдельных вентиляторов: при переводе соответствующего переключателя в положение «Стоп» вентилятор отключается, а все остальные продолжают работать в штатном режиме. Обычная кнопка с самовозвратом для такой цели не подходит, поскольку после её отпускания контакт размыкается, и даже при замкнутом выходе контроллера вентилятор немедленно выключится, что сделало бы невозможной работу в автоматическом режиме без постоянного присутствия оператора у пульта.

Для выбора режима работы всей системы на лицевой панели центрального шкафа автоматики установлен трёхпозиционный переключатель с двумя нормально разомкнутыми контактами (2НО). Положения переключателя: «Автоматический» — управление вентиляторами осуществляется автоматически по сигналу от датчика металлозаготовки НМД, вентиляторы включаются последовательно с выдержкой времени 15

секунд и отключаются через 15 минут после исчезновения сигнала; «Ручной» — включение и отключение вентиляторов производится оператором вручную с пультов ПДУ (через переключатели, установленные взамен штатных кнопок), при этом автоматический режим блокируется; «Отключено» — все цепи управления вентиляторами обесточены (кроме цепей питания контроллера, который остаётся в режиме ожидания), что используется при проведении ремонтных работ в центральном шкафу автоматики. Переключатель режимов имеет приоритет над всеми остальными органами управления: в положении «Отключено» никакие команды с пультов ПДУ не могут запустить вентиляторы, что соответствует требованиям безопасности.

Все предлагаемые изменения выполняются без переделки силовых цепей в шкафах ШСАУ 201–215 и без замены существующих кабельных трасс. Врезка в цепи управления осуществляется непосредственно на переключатели, установленные на пультах ПДУ взамен штатных кнопок «Пуск». Это позволяет минимизировать объём монтажных работ и время простоя стана при внедрении системы. При необходимости сохранения возможности местного управления в шкафах ШСАУ (например, для обхода автоматики при нештатных ситуациях) существующие кнопки «Пуск» и «Стоп» не демонтируются, а остаются в качестве резервных — они сохраняют работоспособность, но приоритет имеет команда с центрального шкафа. Таким образом, предложенные усовершенствования (замена кнопок «Пуск» на пультах ПДУ на переключатели с фиксацией Schneider Electric XB7ND21 и установка переключателя режимов работы на центральном шкафу) значительно повышают удобство, гибкость и надёжность эксплуатации системы. Все изменения выполняются с максимальным использованием существующей инфраструктуры и имеющихся на складе завода компонентов.

Заключение

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы на тему «Разработка автоматизированной системы управления вытяжными вентиляторами стана 320 АО «Чусовской металлургический завод» были решены все поставленные задачи и достигнута цель работы.

Цель работы заключалась в разработке и обосновании автоматизированной системы управления асинхронными двигателями привода вытяжных вентиляторов среднесортного стана 320, обеспечивающей энергосбережение, снижение пусковых токов и упрощение эксплуатации. Достижение данной цели подтверждается полученными в работе результатами, которые кратко изложены ниже.

1. Анализ существующей системы управления. В первой главе работы был проведён детальный анализ текущего состояния системы вытяжной вентиляции стана 320. Установлено, что в настоящее время управление пятнадцатью крышными вентиляторами мощностью 11 кВт каждый осуществляется преимущественно в ручном режиме. В периоды технологических простоев (средняя продолжительность простоя составляет около 2 часов за 12-часовую смену) вентиляторы продолжают работать вхолостую, потребляя значительное количество электроэнергии без выполнения полезной функции. Суммарное потребление пятнадцати вентиляторов в режиме холостого хода составляет 107,25 кВт, что за смену приводит к потерям 214,5 кВт·ч, а за год — к потерям порядка 141 570 кВт·ч. Кроме того, при ручном пуске операторы часто не выдерживают требуемый интервал между включениями, из-за чего несколько вентиляторов запускаются почти одновременно. Это приводит к пиковым пусковым токам (до 1200 А и выше), срабатыванию защиты и выходу из строя автоматических выключателей.

2. Разработка алгоритма и программы управления. На основе анализа выявленных недостатков был разработан алгоритм автоматического

управления группой вентиляторов. Алгоритм предусматривает последовательный пуск всех пятнадцати вентиляторов с выдержкой времени 15 секунд между ступенями, что позволяет снизить пиковый пусковой ток с 2640 А (при одновременном пуске всех пятнадцати двигателей) до 176 А (при последовательном пуске), то есть в 15 раз. При исчезновении сигнала от датчика металлозаготовки HMD Danieli ID2202 контроллер запускает таймер простоя продолжительностью 15 минут, по истечении которого все вентиляторы автоматически отключаются. Если за это время заготовка появляется вновь, таймер сбрасывается, и вентиляторы продолжают работу без остановки. Разработанная программа реализована в среде LOGO! Soft Comfort на языке функциональных блок-диаграмм FBD и успешно прошла тестирование в режиме симуляции.

3. Обоснованный выбор компонентов системы. В проекте выполнен сравнительный анализ альтернативных вариантов основных компонентов. В качестве основного управляющего устройства выбран программируемый логический контроллер Siemens LOGO! 230RCE, который обладает оптимальным сочетанием характеристик: питание 230 В (без отдельного блока питания), 8 дискретных входов, 4 релейных выходов, возможность расширения до 24 выходов через модули DM16 230R и DM8 230R, встроенный дисплей для диагностики, диапазон рабочих температур от –20 до +55 °С и наличие на складе завода. Кроме того, на предприятии сложилась политика использования оборудования Siemens, персонал обучен работе с данной маркой, и другие бренды на заводе практически не применяются. Для фиксации наличия горячей заготовки используется инфракрасный фотодетектор Danieli Automation ID2202 (степень защиты IP66, время отклика менее 0,3 мс, уже установлен на стане). Двойная гальваническая развязка сигнала на двух промежуточных реле Finder обеспечивает надёжную защиту входа контроллера от мощных электромагнитных помех, характерных для металлургического цеха.

4. Разработка схем и монтажных решений. В рамках проектной части разработаны функциональная и принципиальная электрические схемы системы, а также схема расположения оборудования. Принципиальная схема отражает все цепи питания контроллера от шкафа RIO 01, подключение датчика НМД через двойную гальваническую развязку на вход I1, цепи ручного управления (переключатель Schneider Electric XB7ND21 на входах I2 и I3), выходные цепи Q1–Q15 через модули расширения к существующим шкафам ШСАУ 201–215, а также цепи индикации. Важной особенностью разработанного решения является то, что управляющие сигналы подаются на штатные клеммы дистанционного управления существующих шкафов, поэтому силовые цепи вентиляторов не подвергаются изменениям. При отказе автоматики оператор может переключить шкафы ШСАУ в режим местного управления. Центральный шкаф управления размещается в непосредственной близости от пультов ДПУ, а питание 230 В подаётся от распределительного шкафа RIO 01 (по кабелю длиной 40 метров), что обеспечивает минимальные потери напряжения и удобство обслуживания. Принятое сечение кабеля 1,5 мм² обосновано расчётом потери напряжения ($\Delta U_{\%} = 0,42 \%$), что значительно ниже допустимых 5 % по ПУЭ. В процессе монтажа выявлена проблема наводок на катушку реле К1, которая была устранена установкой конденсатора 0,33 мкФ / 400 В параллельно катушке.

5. Экономическая эффективность. Выполненный расчёт экономической эффективности показал, что внедрение разработанной системы позволяет сократить годовое потребление электроэнергии на 127 413 кВт·ч, что в денежном выражении при тарифе 4,5 руб/кВт·ч составляет около 573 000 рублей в год. Снижение пусковых токов уменьшает динамические нагрузки на коммутационную аппаратуру, что продлевает её срок службы.

Общие затраты на внедрение проекта (оборудование и работы) составили 258 109 рублей. При годовой экономии 573 000 рублей срок

окупаемости составляет около 5,4 месяца. Начиная с этого момента система приносит предприятию чистую экономию.

Таким образом, все поставленные задачи решены в полном объёме, а цель работы достигнута. Разработанная автоматизированная система управления вытяжными вентиляторами стана 320 на базе логического контроллера Siemens LOGO! 230RCE обеспечивает:

- последовательный пуск пятнадцати вентиляторов с выдержкой времени 15 секунд, снижая пиковые пусковые токи в 15 раз и исключая просадки напряжения в сети цеха;
- автоматическое отключение всех вентиляторов при длительном (более 15 минут) отсутствии заготовки, что даёт годовую экономию электроэнергии около 573 000 рублей;
- централизованное управление из одного шкафа, что исключает необходимость перемещения персонала по цеху и снижает нагрузку на оператора;
- приоритетный ручной режим для наладки и аварийных ситуаций;
- высокую надёжность благодаря двойной гальванической развязке, выбору компонентов с запасом по току и защите выходов контроллера;
- полную совместимость с существующей инфраструктурой (врезка в шкафы ШСАУ 201–215, питание от шкафа RIO 01).

Рекомендации по внедрению. Разработанная система может быть внедрена на АО «Чусовской металлургический завод» в кратчайшие сроки (ориентировочно 2–3 недели), поскольку все компоненты уже имеются на складе предприятия, а монтаж выполняется штатными сотрудниками без привлечения сторонних организаций. Монтаж не требует остановки основного технологического оборудования на длительный срок, так как силовые цепи вентиляторов не изменяются — врезка выполняется только в цепи управления на штатные клеммы шкафов ШСАУ 201–215. После

внедрения системы рекомендуется провести обучение операторов работе с переключателями Schneider Electric XB7ND21 (пуск/стоп группы и селективное отключение отдельных вентиляторов) и контролем сигнальной лампы «Заготовка». При необходимости система может быть легко расширена за счёт резервных выходов контроллера (Q16–Q24) для подключения дополнительных устройств, например, сигнализации или управления другими механизмами стана.

Список использованных источников

1. Официальный сайт АО «Чусовской металлургический завод». – URL: chmz.com (дата обращения: 15.04.2026).
2. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). Шестое и седьмое издания: все действующие разделы и главы по состоянию на 2026 год. – Москва: КноРус, 2025. – 648 с.
3. Техническая документация на среднесортный стан 320 АО «Чусовской металлургический завод». – Чусовой: АО «ЧМЗ», 2023. – 89 с.
4. Siemens LOGO! 8. Логический модуль: Руководство по эксплуатации / Siemens AG. – Германия: Siemens, 2022. – 204 с. – URL: siemens.com (дата обращения: 10.04.2026).
5. Danieli Automation ID2202. Техническое описание и инструкция по эксплуатации / Danieli & C. SpA. – Buttrio (Italy) : Danieli Automation, 2022. – 34 с.
6. LOGO! Soft Comfort V8.3. Руководство пользователя / Siemens AG. – Германия: Siemens, 2020. – 156 с. – URL: siemens.com (дата обращения: 12.04.2026).
7. Каталог асинхронных двигателей серии АИР. – Москва: Электродвигатель, 2024. – 112 с.
8. ГОСТ 7.32-2017. Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Отчёт о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления: межгосударственный стандарт: дата введения 2018-07-01. – Москва : Стандартинформ, 2017. – 32 с.
9. СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания: санитарно-эпидемиологические правила и нормативы: дата введения 2021-03-01. – Москва: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2021. – 482 с. (Заменяет отменённый СанПиН 2.2.4.3359-16)

10. Ключев, В. И. Теория электропривода: учебник для вузов / В. И. Ключев. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва: Энергоатомиздат, 2001. – 704 с.
11. Шишмарёв, В. Ю. Диагностика и надежность автоматизированных систем : учебник для вузов / В. Ю. Шишмарёв. – Москва: Издательский центр «Академия», 2013. – 352 с.
12. Обеспечение электромагнитной совместимости в промышленных сетях: учебное пособие / В. Н. Костин, Е. А. Шадрин ; под редакцией В. Н. Костиной. – Санкт-Петербург: Профессия, 2019. – 312 с.
13. Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок: с изменениями на 2022 год. – Москва: ЭНАС, 2022. – 128 с.
14. Методические указания по выполнению выпускных квалификационных работ / составители: Е. Н. Хаматнурова, Ю. А. Чурсина. – Лысьва: ЛФ ПНИПУ, 2021. – 56 с.
15. ГОСТ Р 21.101-2020. Система проектной документации для строительства. Основные требования к проектной и рабочей документации: национальный стандарт Российской Федерации: дата введения 2021-01-01. – Москва: Стандартинформ, 2020. – 44 с. (Заменяет отменённый ГОСТ Р 21.1101-2013)
16. Технический каталог промежуточных реле Finder / Finder SpA. – ИТАЛИЯ: Finder, 2022. – 78 с. – URL: findernet.com (дата обращения: 14.04.2026).
17. Переключатель ЕКФ ВД33. Техническое описание / ООО «Энергокомплект». – Москва: Энергокомплект, 2023. – 12 с.