



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

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

на тему: «Разработка системы электроснабжения нового склада ЛВЖ»

студента группы ЭС9-22-1СПО по специальности
13.02.07 «Электроснабжение (по отраслям)»

Щербаков Евгений Ильич

Руководитель работы (проекта): Корпукович В.В. _____ \

Консультант по организационно - экономической части: Стругова Л.А.
_____ \

Консультант по промышленной экологии и охране труда: Торощин А.К.
_____ \

Рецензент: _____ \

Допуск к защите: Торощин А.К. _____ \

Нормоконтроль: Торощин А.К. _____ \

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	2
1. ИСЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ЧАСТЬ	Ошибка! Закладка не определена.
1. Общая характеристика предприятия и объекта реконструкции	4
1.1.1. ООО «Лысьваннефтемаш»: профиль, производственная структура	4
1.1.2 Производственное здание раскроя и штамповки	4
1.1.3 Обоснование необходимости пристройки склада ЛВЖ и ГЖ	7
1.2. Технические условия и исходные данные для проектирования	9
1.2.1. Анализ технического задания на проектирование	9
1.2.2. Характеристика источников электроснабжения	12
1.2.3. Климатические и метеорологические условия района)	13
1.3. Нормативная база и классификация объекта	17
1.3.1. Категория взрывопожарной опасности помещений склада ЛВЖ	17
1.3.2. Классификация электроприемников по степени надежности	21
1.3.3. Перечень применяемых нормативных документов	25
2. КОНСТРУКТОРСКАЯ ЧАСТЬ	30
2.1 Расчет электрических нагрузок склада ЛВЖ	30
2.1.1 Определение установленной и расчетной мощности	30
2.1.2 Расчет расчетного тока питающей линии	34
2.1.3. Проверка потери напряжения в линиях	39
2.2. Принципиальная схема электроснабжения и выбор оборудования	46
2.2.1. Структурная схема электроснабжения	46
2.2.2 Выбор и обоснование силового щита ЩС	49
2.2.3 Щит ПЭСПЗ с АВР для электроприемников 1-й категории	53
2.3 Система внутреннего электроосвещения	57
2.3.1 Расчет освещенности помещения склада	57
2.3.2 Взрывозащищенные светильники LAD LED R320 Ex	61
2.3.3 Щиты рабочего (ЩРО) и аварийного (ЩАО) освещения	65
3. ОХРАНА ТРУДА И ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭКО	70

3.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов на объекте проектирования	70
3.2 Организация защитного заземления и системы молниезащиты	74
3.3 Экологическая безопасность проектируемого объекта	79
4.ОРГАНИЗАЦИОННО - ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ	85
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	93
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ	95

ВВЕДЕНИЕ

Электроснабжение промышленных объектов – одна из ключевых инженерных задач при строительстве и реконструкции производственных зданий. Здесь недопустимы не только грубые ошибки в расчетах, но и любые компромиссы в вопросах надежности питания, защитного заземления и молниезащиты – цена просчета слишком высока.

ООО «Лысьваннефтемаш» (Лысьвенский завод нефтяного машиностроения) – современное машиностроительное предприятие, входящее в группу компаний холдинга «Производственная компания Борец». Завод специализируется на выпуске погружных электродвигателей, протекторов и датчиков для нефтяной отрасли. Непрерывный рост производства требует расширения инфраструктуры – в том числе строительства нового склада для хранения ЛВЖ и ГЖ, используемых в технологическом процессе. Этот объект стал основой для настоящего дипломного проекта.

Актуальность темы обусловлена тремя факторами:

1. Производственная деятельность предприятия связана с использованием легковоспламеняющихся жидкостей (ЛВЖ), требующих безопасного хранения.
2. Здание № 59:09:0011801:597 реконструируется: к нему пристраивают новый склад ЛВЖ с системами вентиляции, отопления, пожаротушения и дымоудаления.
3. Электроприемники объекта относятся к первой (системы пожарной сигнализации, пожаротушения и аварийного освещения) и второй категориям надежности электроснабжения, что требует двух независимых источников питания.

Для правильного проектирования необходимо глубокое понимание нормативной базы и инженерных методов расчета.

Целью дипломной работы является разработка системы электроснабжения нового склада ЛВЖ на базе ООО «Лысьваннефтемаш».

Объект дипломной работы – система электроснабжения пристроя склада ЛВЖ и ГЖ к производственному зданию раскроя и штамповки ООО «Лысьванефтемаш», расположенного по адресу: Пермский край, г. Лысьва, ул. Пожарского, 8.

Предмет дипломной работы – технические решения по электроснабжению, освещению, защитному заземлению и молниезащите склада ЛВЖ, включая расчет нагрузок, выбор кабелей и щитового оборудования, схему АВР для электроприемников первой категории надежности, с обоснованием технических решений, расчетом электрических нагрузок и выбором оборудования, отвечающего требованиям надежности и пожарной безопасности.

Новизна работы: помещение склада относится к категории А по пожарной опасности, что накладывает особые ограничения на выбор электрооборудования, тип исполнения светильников, способы прокладки кабелей и конструкцию защитных устройств. Все эти решения увязаны с реальной проектной документацией ООО «Аспект» (разделы ЭМ, ЭО, ЭГ, ИОС1, расчет нагрузок ЭС.РР), что придает дипломному проекту прикладной характер.

Практическая значимость работы определяется тем, что разработанные технические решения могут быть применены непосредственно при монтаже системы электроснабжения реконструируемого объекта. Расчеты нагрузок, схема питания с АВР, выбор кабелей марки ВВГнг(А)-LS и ВБШвнг(А)-LS, проектирование молниезащиты II категории с молниеприемной сеткой из арматурной стали диаметром 8 мм – все это конкретные инженерные результаты, пригодные для использования в рабочей документации. Кроме того, примененная методика может служить основой при проектировании аналогичных объектов на других промышленных предприятиях, где хранятся и используются ЛВЖ.

1. ИСЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ЧАСТЬ

1. Общая характеристика предприятия и объекта реконструкции

1.1.1. ООО «Лысьванефтемаш»: профиль, производственная структура, место в холдинге «ПК-Борец»

Лысьвенский завод нефтяного машиностроения (ООО «Лысьванефтемаш») – современное предприятие, специализирующееся на производстве высокотехнологичного оборудования для нефтедобывающей отрасли. Начав с небольшого участка в составе завода «Привод», в 1992 году завод был создан как самостоятельное производство погружных электроустановок. В 2006 году он получил юридическую самостоятельность и вошел в состав холдинга «ПК-Борец».

Завод производит погружные электродвигатели, протекторы и датчики, а также специальные модули и кабель. Ассортимент включает асинхронные и вентильные электродвигатели диаметром от 95 до 143 мм и мощностью от 8 до 580 кВт, протекторы от 86 до 172 мм и другие изделия. В 2006 году было выпущено 5 742 единицы продукции, а к 2013 году – 23 582, что свидетельствует о четырехкратном росте за семь лет. 85% продукции поставляется на российский рынок, 15% – на экспорт.

В 2011-2013 годах в Лысьву было перенесено московское производство, включая четыре линии по выпуску провода и логистический центр холдинга. Завод располагает резервом производственных мощностей и планирует расширение складской инфраструктуры.

ООО «Лысьванефтемаш» активно развивается, укрепляя свои позиции в международном холдинге «ПК-Борец» и следуя стратегии расширения.

1.1.2 Производственное здание раскрыя и штамповки

Производственный корпус на улице Пожарского, 8 в городе Лысьве – типичный представитель промышленной архитектуры советской эпохи. Здание построено в 1975 году и изначально проектировалось как многофункциональный производственный корпус тяжелой промышленности: с мощными железобетонными несущими конструкциями, большими

пролетами, рассчитанными на размещение крупногабаритного оборудования, и разветвленной системой подкрановых путей для обслуживания технологических зон. За прошедшие десятилетия здание неоднократно перепрофилировалось, дооснащалось и частично модернизировалось, однако его конструктивная основа по-прежнему определяется проектными решениями середины 1970-х годов. Габариты здания внушительные: 84 × 99,91 метра в плане, площадь застройки – 7 742 м², строительный объем – 113 001 м³. Это крупный промышленный объект, занимающий значительную часть заводской территории. Трехэтажная административно-бытовая часть (корпус №13), примыкающая к производственному пролету, включает более 60 помещений различного назначения – от складов материалов и продукции цеха ПТОП до кабинетов руководства, бухгалтерии, конструкторского и технологического отделов, а также бытовых помещений: раздевалок, душевых, санузлов, столовой. Производственная часть занята непосредственно технологическими участками: раскроем, штамповкой, сваркой, испытаниями СПП, компрессорной и вспомогательными зонами. Конструктивная система здания полностью соответствует типовым решениям промышленного строительства того периода. Фундаменты выполнены монолитными из бетона марки М150 с арматурой Ø8АІ и Ø18АІІ по фундаментным балкам серии КЭ-03-23. Несущий каркас образован железобетонными колоннами серий КЭ-01-49 и КЭ-01-55 с шагом, типичным для производственных зданий с мостовыми кранами. Подкрановые балки – стальные, серии КЭ-01-57 ВІ, а также стальные сварные балки из материала Вст3ПС. Перекрытие опирается на балки типа 1Б-4-18-7, кровля выполнена из плит ПКЖ-5 серии ПК-01-106 с утеплителем из фибролита толщиной 150 мм ($\gamma = 600 \text{ кг/м}^3$). Кровельный изолирующий слой – рулонный. Наружные стены выполнены из стеновых панелей ячеистого бетона толщиной 240 мм серии СТ-02-31. Для наглядного представления всех конструктивных характеристик здания приведены сводные данные, собранные на основании паспорта объекта и технического задания на проектирование.

Таблица 1 – Конструктивные характеристики производственного здания раскроя и штамповки

Конструктивный элемент	Характеристика / серия / материал
Год постройки	1975
Габариты в плане	84 × 99,91 м
Площадь застройки	7 742 м ²
Строительный объем	113 001 м ³
Фундаменты	Монолитные, бетон М150, арм. Ø8АІ / Ø18АІІ; фонд. балки серии КЭ-03-23
Колонны	Железобетонные, серии КЭ-01-49, КЭ-01-55
Подкрановые балки	Стальные, серия КЭ-01-57 ВІ; стальные сварные, ВстЗПС
Балки перекрытия	1Б-4-18-7
Плиты покрытия	ПКЖ-5, серия ПК-01-106
Утеплитель кровли	Фибролит 150 мм, $\gamma = 600$ кг/м ³
Кровля (изолирующий слой)	Рулонная
Наружные стены	Стеновые панели из ячеистого бетона $\delta = 240$ мм, серия СТ-02-31
Кадастровый номер	59:09:0011801:597
Инвентарный номер	ЛЭНМ-3350

Здание спроектировано по типовым сериям советского промышленного строительства, что обеспечивает предсказуемость поведения конструкций и упрощает их обследование. Однако возраст объекта вызывает вопросы о техническом состоянии. Перед проектированием реконструкции было проведено обследование (заключение ТО-59.8-97.18-3С от 28.07.2018).

Кровля здания не соответствует требованиям молниезащиты: толщина металла менее 4 мм, что исключает упрощенную схему защиты. Это повлияло на проектные решения в разделе молниезащиты.

Планировка здания включает три этажа: первый – производственные и вспомогательные помещения (склады, компрессорная, технические помещения, пост охраны); второй – административные службы (кабинеты, архив, санитарные узлы); третий – бухгалтерия и кабинеты руководства. Такое зонирование типично для советских заводских корпусов.

Новая пристройка – склад ЛВЖ и ГЖ (701,2 м²) – примыкает с северной стороны. Ее размеры – 36,5 × 18 м. Конструкция выполнена из трехслойных сэндвич-панелей с минераловатным утеплителем. Высота до низа несущих конструкций – 10,99 м. Несущие колонны железобетонные по серии 1.423.1-3. Под эти параметры подобраны инженерные решения.

Проектировщикам предстояло вписать в существующую инфраструктуру полувекового здания современный склад взрывопожароопасного класса с соответствующими инженерными системами.

1.1.3 Обоснование необходимости пристройки склада ЛВЖ и ГЖ

Любое машиностроительное производство использует технологические жидкости: растворители для обезжиривания, ацетон для очистки, масла для смазки и в гидравлических системах. На крупных предприятиях, таких как ООО «Лысьваннефтемаш», объемы потребления исчисляются сотнями бочек, и их хранение требует строгого соблюдения правил пожарной безопасности. Неправильное хранение легковоспламеняющихся и горючих жидкостей – частая причина пожаров. Поэтому российское законодательство требует специализированных складов с соответствующими конструктивными и инженерными решениями.

Новое складское помещение проектируется для хранения растворителей, ацетона и масла в металлических бочках (200 литров, 4 бочки на поддон). Растворители (24 бочки) относятся к легковоспламеняющимся жидкостям с низкой температурой вспышки и высокой летучестью, что делает их наиболее опасными. Ацетон (24 бочки) также является легковоспламеняющейся жидкостью с температурой вспышки около –18°C, требующей принудительной вентиляции и взрывозащищенного оборудования. Масло (520 бочек) – горючая жидкость с температурой вспышки выше 61°C, создающая значительную пожарную нагрузку при большом объеме хранения.

Ниже приведены основные характеристики хранимых веществ в сводной форме.

Таблица 2 – Состав и объем хранимых веществ на складе ЛВЖ и ГЖ

Наименование вещества	Класс опасности	Количество бочек, шт.	Объем одной бочки, л	Суммарный объем, л
Растворитель	ЛВЖ	24	200	4 800
Ацетон	ЛВЖ	24	200	4 800
Масло	ГЖ	520	200	104 000
Итого	–	568	–	113 600

Из приведенных данных видно масштаб задачи: объем хранимых жидкостей превышает 113 тысяч литров, из них почти 10 тысяч – особо опасные легковоспламеняющиеся. Это требует строгого соблюдения требований СП 155.13130.2014 и СП 4.13130.2013 для защиты персонала и имущества.

В проектируемом помещении предусмотрены зоны для вертикальной погрузки и разгрузки транспортных средств с использованием мостового электрического крана грузоподъемностью 2 тонны. Кран требует отдельной питающей линии и системы уравнивания потенциалов.

Температурный режим помещения составляет +18°C, что соответствует нормам для технических помещений и складов ЛВЖ и ГЖ. Для поддержания температуры используются мощные водяные тепловентиляторы с тепловой нагрузкой 210 кВт на отопление и 601,8 кВт на вентиляцию. Это создает значительную нагрузку на систему электроснабжения.

Объект значительно сложнее обычного склада из-за взрывоопасной среды, большой пожарной нагрузки, мостового крана и мощной вентиляции. Эти факторы требуют строгих требований к надежности электроснабжения. Все проектные решения основаны на технических условиях подключения к инженерным сетям и климатических параметрах района строительства.

1.2. Технические условия и исходные данные для проектирования

1.2.1. Анализ технического задания на проектирование: требования заказчика, состав работ

Техническое задание на проектирование – ключевой документ, определяющий требования заказчика, границы задачи и условия для поиска оптимального решения. Хорошо составленное ТЗ минимизирует недоразумения и направляет работу в нужное русло. В данном проекте техническое задание от ООО «Лысьваннефтемаш» детально описывает характеристики объекта, исходные данные, требования к работам и нормативные документы.

Объект реконструкции – производственный корпус 1975 года (кадастровый номер 59:09:0011801:597, инвентарный номер ЛЭНМ-3350) по адресу: г. Лысьва, ул. Пожарского, 8. Планируется пристройка с северной стороны ($36,5 \times 18$ м), согласно утвержденной планировке ПРО.2023.02.645 от 02.03.2023 г.

Исходные данные включают паспорт здания, заключение по обследованию конструкций (ТО-59.8-97.18-3С от 28.07.2018 г.) и техническое задание. Требования к исполнителю строгие: членство в СРО «Гильдия Пермских проектировщиков» и «Инженерные Решения», аттестация на проектирование средств пожарной безопасности (регистрационный №59-17-2022-000226, номер ЕРУЛ: Т002-00101-59/00575204) из-за взрывопожароопасности объекта.

Проектные работы выполняет ООО «Аспект» (г. Пермь), соответствующее всем требованиям. Заказчик обязан предоставить исходные данные и обеспечить доступ на объект. Техническое задание включает список обязательных нормативных документов, систематизированных в таблице.

Таблица 3 – Перечень нормативных документов, обязательных к соблюдению согласно техническому заданию

№	Обозначение	Наименование
1	№ 190-ФЗ от 29.12.2004	Градостроительный кодекс Российской Федерации
2	Постановление Правительства РФ №87 от 16.02.2008	О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию
3	ГОСТ 21.101-2020	СПДС. Основные требования к проектной и рабочей документации
4	СП 48.13330.2019	Организация строительства
5	СП 73.13330.2016	Внутренние санитарно-технические системы зданий
6	СП 60.13330.2020	Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха
7	СП 47.13330.2016	Инженерные изыскания для строительства
8	ПУЭ, изд. 7	Правила устройства электроустановок
9	Приказ Минэнерго РФ №811 от 12.08.2022	Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей
10	Приказ Минэнерго РФ №1070 от 04.10.2022	Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей
11	ППРФ №1479 от 16.09.2020	Правила противопожарного режима в Российской Федерации
12	№ 123-ФЗ от 22.07.2008	Технический регламент о требованиях пожарной безопасности
13	СП 155.13130.2014	Склады нефти и нефтепродуктов. Требования пожарной безопасности
14	СП 4.13130.2013	Ограничение распространения пожара на объектах защиты
15	СП 484.1311500.2020	Системы пожарной сигнализации и автоматизация систем противопожарной защиты
16	СП 485.1311500.2020	Установки пожаротушения автоматические. Нормы и правила проектирования
17	СП 486.13130.2020	Перечень зданий, подлежащих защите автоматическими установками пожаротушения

Перечень показывает, насколько широк круг нормативных требований, которым должен соответствовать проект. Здесь и базовые строительные нормы, и специализированные документы по пожарной безопасности складов нефтепродуктов, и требования к системам автоматического пожаротушения и сигнализации. Разветвленная нормативная база обусловлена самой спецификой объекта: склад ЛВЖ и ГЖ – это зона повышенного риска, где пересекаются требования строительного, электротехнического и противопожарного законодательства одновременно.

Технические условия на подключение к инженерным сетям, зафиксированные в техническом задании, задают конкретные точки подключения для каждой инженерной системы. Электроснабжение и электроосвещение предусмотрены от внутрицеховой сети напряжением 0,4 кВ: точки подключения – трансформаторная подстанция ТП-21 (трансформатор 6/0,4 кВ, 750 кВА) в пролете Г–Д, осях 1–2, и трансформаторная подстанция ТП-33 (трансформатор 6/0,4 кВ, 1000 кВА) в пролете К–Л, осях 1–2. Наличие двух независимых источников питания – принципиальное условие для обеспечения надежности электроснабжения электроприемников первой категории, к которым относятся система пожаротушения, аварийное освещение и аварийная вентиляция склада. Водоснабжение подключается от узла ввода противопожарного и питьевого водопровода в пролете А–В, осях 1–2, с возможностью дополнительного подключения к противопожарному водопроводу в пролете И–К. Теплоснабжение – от теплового узла в пролете Д–Е, осях 1–2.

Отдельного упоминания заслуживает требование технического задания об обязательном соблюдении норм по хранению легковоспламеняющихся жидкостей. Согласно СП 155.13130.2014, склады нефти и нефтепродуктов подпадают под особый режим проектирования, включающий специальные требования к строительным конструкциям, системам вентиляции, пожаротушения, молниезащиты и – что особенно важно в контексте данного диплома – к электроснабжению и электрооборудованию. Все электрические

аппараты, светильники и кабельные линии, размещаемые в зоне хранения ЛВЖ, должны соответствовать классу взрывозащиты, установленному для данной взрывоопасной зоны.

техническое задание сформировало четкие рамки для всей проектной работы: конкретный объект, конкретные точки подключения к сетям, конкретный перечень нормативов и квалификационные требования к исполнителю. Именно в этих рамках и выстроена вся система проектных решений, рассматриваемых в данном дипломе. Следующий подпункт посвящен детальному рассмотрению характеристик источников электроснабжения и параметров питающей сети.

1.2.2. Характеристика источников электроснабжения

Для того чтобы электричество надежно поступало на любой промышленный объект, важно правильно выбрать источники питания. Для складов с легковоспламеняющимися и горючими жидкостями это особенно важно, так как некоторые электроприборы должны работать без перебоев. Для этого используют две независимые трансформаторные подстанции – ТП-21 и ТП-33. Они находятся прямо в цехе, что уменьшает длину проводов и потери напряжения.

Основной источник питания – подстанция ТП-21. Она получает энергию от главного распределительного устройства (ВРУ1) цеха. Питание склада идет через специальный щит. Если на основном вводе случится авария, можно вручную включить резервное питание.

Резервный источник – подстанция ТП-33, которая также получает энергию от ВРУ1. В нормальном режиме работы оба источника работают независимо, что важно для надежности.

Для разных групп электроприборов резервирование организовано по-разному. Например, освещение и общие нагрузки питаются от одного щита, который получает энергию от основного ввода. При аварии там можно вручную включить резервное питание. Но для критически важных систем, таких как пожарная сигнализация и аварийное освещение, используется

отдельный щит с автоматическим переключением на резервный ввод. Это важно, так как эти системы должны работать без перебоев в первые секунды после аварии.

Параметры питающей сети определяют выбор оборудования. Напряжение – 220/380 вольт, частота – 50 герц. К сети подключено два независимых ввода. Заземление сделано по современным стандартам, что обеспечивает безопасность.

Качество электроэнергии должно соответствовать нормам. Отклонения напряжения не должны превышать 5% в нормальном режиме и 10% при аварии. По результатам расчетов, потери напряжения составляют всего 1,4%, что укладывается в допустимые нормы.

Для этого объекта не нужна компенсация реактивной мощности, так как большинство электроприборов потребляют только активную энергию. Средний коэффициент мощности составляет 0,97, что исключает необходимость в дополнительных устройствах.

Учет расхода электроэнергии ведется на вводе в основное здание. Дополнительные приборы учета не устанавливаются.

Мощность новых объектов рассчитывается с учетом существующей инфраструктуры. Суммарная мощность нового склада составляет 31 кВт, что не превышает возможностей существующих трансформаторов.

Выбранная схема электроснабжения – два независимых ввода с автоматическим переключением для критически важных систем – отвечает всем требованиям надежности и не требует изменений в существующей инфраструктуре цеха. Это позволяет запустить новый объект без остановки производства.

1.2.3. Климатические и метеорологические условия района строительства (г. Лысьва, Пермский край)

Климатические условия района строительства – это не просто формальный раздел проектной документации, который принято заполнять «для галочки». От правильно принятых климатических параметров напрямую

зависят технические решения сразу по нескольким разделам проекта: выбор типа и мощности отопительного оборудования, расчет тепловых нагрузок на вентиляцию, конструктивное исполнение молниезащиты и заземления, требования к степени защиты электрооборудования, размещаемого в неотапливаемых зонах или снаружи здания. Все это относится к проектируемому складу ЛВЖ и ГЖ – объекту, в котором климатический фактор влияет на выбор буквально каждой инженерной системы.

Город Лысьва расположен в Пермском крае, на западных склонах Среднего Урала. Географическое положение города определяет его климатический облик: умеренно-континентальный климат с холодной продолжительной зимой, относительно коротким и не всегда теплым летом, значительным количеством осадков в течение всего года. Уральские горы, несмотря на свою невысокую абсолютную отметку в этом районе, оказывают заметное влияние на формирование местного климата, задерживая влажные атлантические воздушные массы и усиливая их охлаждение. В результате зимы в Лысьве заметно суровее, чем в большинстве городов с аналогичной широтой, расположенных западнее Урала.

Расчетные климатические параметры для проектирования систем отопления, вентиляции и кондиционирования приняты в соответствии с требованиями СП 131.13330.2020 «Строительная климатология»: холодный период года – по параметру Б (таблица 1), теплый период года – по параметру А (таблица 1). Климатический район строительства – IV, зона влажности – 2 (нормальная). Барометрическое давление – 995 ГПа.

Температурный режим района определяет большую часть теплотехнических решений. Средняя температура отопительного периода составляет минус 5,4°C, продолжительность отопительного периода – 225 суток. Это значительная цифра: почти две трети календарного года система отопления работает в активном режиме. Такая продолжительность отопительного сезона непосредственно влияет на требования к надежности

теплоснабжения склада и к резервированию систем, обеспечивающих поддержание нормативной температуры в помещении хранения ЛВЖ.

Относительная влажность воздуха в наиболее холодный месяц составляет 78%, в наиболее теплый – 68%. Повышенная влажность – характерная черта уральского климата, обусловленная близостью горных массивов и значительным количеством осадков. Для электротехнических систем этот фактор имеет вполне конкретные последствия: оборудование, размещаемое в неотапливаемых или слабо отапливаемых зонах, должно иметь достаточную степень защиты от влаги, а кабельные линии, прокладываемые снаружи здания или в грунте, – соответствующую влагостойкую изоляцию и защитные оболочки.

Снеговые и ветровые нагрузки для Пермского края значительны. Пермский край относится к зонам с высокой снеговой нагрузкой, что принималось во внимание при проектировании кровли пристройки и при расчете несущих конструкций. Для системы молниезащиты снеговая нагрузка также является расчетным параметром: молниеприемная сетка, укладываемая на кровле, должна выдерживать вес снегового покрова без потери контакта с токоотводами и без деформации ячеек. Ветровой режим района учитывается при проектировании систем дымоудаления: выброс продуктов горения через дымовые люки допускается с учетом скорости ветра и снеговой нагрузки, что прямо зафиксировано в СП 7.13130.2020.

Режим отпуска тепла от существующего теплового пункта, к которому подключается система отопления склада, принят следующим образом: на отопление и вентиляцию при расчетной температуре наружного воздуха минус 35°C – параметры теплоносителя 95–70°C. Именно температура минус 35°C принята в качестве расчетной для проектирования отопления – это означает, что система должна обеспечивать нормативную температуру в помещении даже в условиях наиболее суровых зим, характерных для данного района. Метод регулирования теплоснабжения – качественный, то есть

регулирование осуществляется изменением температуры теплоносителя при постоянном его расходе.

Влияние климатических условий на электротехническую часть проекта проявляется в нескольких аспектах. Во-первых, приточные вентиляционные установки, обслуживающие склад, частично размещаются снаружи здания – оборудование наружного исполнения (система П1) должно сохранять работоспособность при температурах, характерных для данного климатического района. Во-вторых, воздушно-тепловые завесы, установленные на воротах склада, работают именно в холодный период года, внося значительный вклад в суммарную электрическую нагрузку объекта – 296 кВт из общей вентиляционной нагрузки 601,8 кВт приходится именно на завесы. В-третьих, кабельные линии, прокладываемые в наружных стенах или снаружи здания, а также контурный заземлитель молниезащиты, заглубленный в грунт, должны соответствовать требованиям по морозостойкости и коррозионной стойкости.

Для системы молниезащиты климатические условия определяют выбор материала заземлителей. В грунтах Пермского края с их характерной влажностью и умеренной агрессивностью применение стальной оцинкованной полосы 40×5 мм в качестве контурного заземлителя является обоснованным и нормативно закрепленным решением. Глубина заложения заземлителя – не менее 0,5 м от уровня земли – выбрана с учетом глубины промерзания грунта: заземлитель должен находиться ниже зоны сезонного промерзания, чтобы его электрическое сопротивление не возрастало критически в зимний период, когда промерзший грунт имеет существенно более высокое удельное сопротивление.

В целом климатические и метеорологические условия района строительства влияют на весь комплекс инженерных решений по объекту. Суровая уральская зима с продолжительным отопительным сезоном, высокая влажность воздуха, значительные снеговые нагрузки – все это учтено при выборе оборудования, материалов и конструктивных решений как по

электроснабжению, так и по смежным разделам проекта. Понимание климатического контекста позволяет правильно расставить приоритеты при проектировании и избежать ошибок, которые в условиях эксплуатации могли бы привести к отказу инженерных систем именно тогда, когда они нужны больше всего – в самый разгар зимы.

1.3. Нормативная база и классификация объекта

1.3.1. Категория взрывопожарной опасности помещений склада ЛВЖ и требования ПУЭ, СП 155.13130

Классификация помещений по взрывопожарной и пожарной опасности – это отправная точка для всего последующего проектирования инженерных систем объекта. Именно от присвоенной категории зависит, какое электрооборудование допустимо применять, как прокладывать кабельные линии, какие конструктивные решения предусмотреть для строительной части, насколько разветвленной должна быть система противопожарной защиты. Ошибка в определении категории на начальном этапе проектирования – это не просто формальное нарушение, это реальная угроза безопасности людей, работающих на объекте. Поэтому категорирование помещений выполняется до разработки каких-либо технических решений и определяет всего остального.

Категория помещений определяется в соответствии с СП 12.13130.2009 «Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности». Согласно этому документу, помещения подразделяются на пять категорий: А и Б – взрывопожароопасные, В1–В4 – пожароопасные, Г и Д – с умеренной и пониженной пожарной опасностью. Категория А присваивается помещениям, в которых обращаются горючие газы или легковоспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки не более 28°C, а их количество таково, что может образоваться взрывоопасная паровоздушная смесь. Категория Б охватывает помещения с ЛВЖ, имеющими температуру вспышки выше 28°C, а также с горючими пылями и волокнами.

Применительно к проектируемому складу ситуация однозначна. В помещении хранятся растворитель и ацетон – легковоспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки значительно ниже 28°C. Ацетон имеет температуру вспышки около минус 18°C, большинство органических растворителей – в диапазоне от минус 20°C до плюс 20°C. При хранении 24 бочек растворителя и 24 бочек ацетона суммарным объемом 9 600 литров испарение этих веществ даже при нормальной температуре помещения (+18°C) способно создать в воздухе концентрации паров, близкие к нижнему концентрационному пределу воспламенения. склад относится к категории А по взрывопожарной опасности. Это наиболее высокая степень опасности из всех предусмотренных классификацией, и она влечет за собой самые жесткие требования ко всем инженерным системам.

Присвоение категории А означает, что помещение относится к взрывоопасной зоне класса В-1а по классификации ПУЭ (издание седьмое, глава 7.3). Зона В-1а – это зона, расположенная в помещениях, в которых при нормальной работе взрывоопасные смеси горючих газов или паров легковоспламеняющихся жидкостей с воздухом не образуются, а возможны только в результате аварий или неисправностей. Именно к этому классу относится склад ЛВЖ при условии, что хранение осуществляется в герметичной таре (металлических бочках с закрытыми пробками) и обеспечена нормативная вентиляция. Практически это означает, что в нормальном режиме работы концентрация паров в воздухе помещения не достигает взрывоопасных значений, однако при разгерметизации тары или отказе вентиляции ситуация может быстро измениться. Поэтому к электрооборудованию, размещаемому в зоне В-1а, предъявляются серьезные требования по взрывозащите.

Требования ПУЭ к электрооборудованию взрывоопасных зон класса В-1а детально изложены в главе 7.3. Все электрические машины, аппараты, светильники, приборы и другое оборудование, устанавливаемое в этой зоне, должны иметь соответствующий уровень взрывозащиты. Для зоны В-1а

допускается применение электрооборудования в исполнении не ниже «взрывозащищенное» с маркировкой, соответствующей группе и категории взрывоопасной смеси. Ацетон и большинство органических растворителей относятся ко второй группе взрывоопасных смесей (IIA или IIB по классификации ГОСТ Р МЭК 60079), что должно быть учтено при выборе взрывозащищенного оборудования. В проекте эти требования реализованы через применение взрывозащищенных светильников серии LAD LED R320 Ex, взрывозащищенных тепловентиляторов OBEX-21-19-500-IIB и воздушно-тепловых завес «Веза» во взрывозащищенном исполнении.

Кабельные линии, прокладываемые во взрывоопасной зоне, также подпадают под специальные требования. Согласно ПУЭ, в зонах класса В-1а допускается прокладка кабелей с оболочками и покровами из материалов, не распространяющих горение. В проекте для групповых сетей принят кабель марки ВБШвнг(А)-LS – негорючий, с умеренным дымовыделением, в броне из стальных лент. Для сетей аварийного освещения и противопожарных систем применяется кабель ВБШвнг(А)-FRLS с пониженным дымовыделением и сохранением работоспособности в условиях пожара. Прокладка кабелей систем противопожарной защиты выполняется отдельно от линий, не относящихся к СПЗ, что исключает возможность одновременного повреждения рабочих и пожарных кабелей при локальном воздействии огня.

Требования СП 155.13130.2014 «Склады нефти и нефтепродуктов. Требования пожарной безопасности» распространяются на данный объект в части объемно-планировочных и конструктивных решений, а также в части инженерного оснащения. Свод правил устанавливает нормы по противопожарным расстояниям, требования к конструктивным элементам помещений хранения нефтепродуктов, нормы по оснащению автоматическими установками пожаротушения и сигнализации. Для складов ЛВЖ категории А обязательно предусмотрено автоматическое устройство пожаротушения – этот вопрос решен в составе раздела СПЗ проекта, который

разрабатывается смежной организацией и в данном дипломе не рассматривается. Вместе с тем электроснабжение системы пожаротушения, ее питающие линии и щит ПЭСПЗ с АВР являются прямым предметом рассматриваемых проектных решений.

Важным следствием категории А является и требование к конструкции полов помещения: они должны быть выполнены из материалов, не дающих искры при ударе. Это требование, казалось бы, относящееся исключительно к строительной части, имеет косвенное отношение и к электроснабжению: при выборе способа прокладки кабелей по полу и при проектировании заземляющих проводников необходимо учитывать, что любые металлические элементы в зоне хранения ЛВЖ потенциально могут стать источником искры при механическом воздействии. Поэтому все металлические конструкции – кабельные лотки, короба, трубы электропроводки, металлоконструкции кранового пути – в обязательном порядке присоединяются к системе уравнивания потенциалов, исключая возникновение искровых разрядов вследствие разности потенциалов между металлическими элементами конструкции.

категория А по взрывопожарной опасности – это не просто запись в проектной документации, а базовое техническое условие, которое пронизывает все инженерные решения по объекту: от выбора марки кабеля до типа светильника, от конструкции заземлителя до схемы резервирования питания. Понимание этого позволяет воспринимать все последующие технические решения не как набор формальных требований, а как логически связанную систему мер, направленных на обеспечение безопасной эксплуатации объекта с повышенной взрывопожарной опасностью. Следующий подпункт посвящен детальному рассмотрению классификации электроприемников склада по степени надежности электроснабжения и вытекающим из этого проектным решениям.

1.3.2. Классификация электроприемников по степени надежности электроснабжения (1-я и 2-я категории)

Категория надежности электроснабжения – один из ключевых параметров, определяющих архитектуру всей системы питания объекта. От того, к какой категории отнесен тот или иной электроприемник, зависит, нужно ли для него резервирование, насколько быстрым должно быть переключение на резервный источник и допустим ли вообще перерыв в электроснабжении. Для склада ЛВЖ и ГЖ этот вопрос приобретает особую остроту: здесь работают системы, от которых в буквальном смысле зависят жизни людей – пожарная сигнализация, установка пожаротушения, аварийное освещение. Перерыв в их питании в момент возникновения нештатной ситуации недопустим ни при каких обстоятельствах.

Нормативную основу классификации составляет ПУЭ (издание седьмое), глава 1.2, пункт 1.2.17 «Категории электроприемников и обеспечение надежности электроснабжения». Согласно этому документу, все электроприемники делятся на три категории. Электроприемники первой категории – это те, перерыв электроснабжения которых может повлечь за собой опасность для жизни людей, угрозу безопасности государства, значительный материальный ущерб, расстройство сложного технологического процесса или нарушение функционирования особо важных элементов коммунального хозяйства. В нормальных режимах они должны обеспечиваться от двух независимых взаиморезервируемых источников питания, а перерыв электроснабжения при аварии на одном из вводов допускается лишь на время автоматического восстановления питания. Электроприемники второй категории допускают перерыв электроснабжения на время, необходимое для включения резервного питания действиями дежурного персонала или выездной оперативной бригады. Третья категория – все прочие электроприемники, для которых перерывы в электроснабжении допустимы на период ремонта или замены поврежденного элемента.

Для проектируемого склада ЛВЖ электроприемники третьей категории надежности не предусмотрены вовсе – специфика объекта исключает такую возможность. Все электрооборудование распределено между первой и второй категориями в зависимости от его функционального назначения и последствий возможного отключения. Такое распределение не является произвольным: оно строго регламентировано нормативными документами и обосновано в составе проектной документации.

К первой категории надежности электроснабжения отнесены электроприемники систем противопожарной защиты: пожарная сигнализация, система оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре, установка автоматического пожаротушения, противопожарные клапаны систем вентиляции и дымоудаления, а также аварийное электроосвещение. Причина проста: именно эти системы должны работать в момент возникновения пожара или иной чрезвычайной ситуации – то есть именно тогда, когда вероятность нарушения электроснабжения наиболее высока. Аварийная вентиляция, обеспечивающая дымоудаление при пожаре, также включена в первую категорию. Для всех перечисленных электроприемников предусмотрен щит ПЭСПЗ с устройством двустороннего АВР: при пропадании напряжения на рабочем вводе переключение на резервный осуществляется автоматически за время не более 1–2 секунд.

Ко второй категории отнесен весь остальной комплекс электроприемников: силовое оборудование (мостовой кран, технологическое оборудование), системы общеобменной вентиляции и отопления (тепловентиляторы, приточные и вытяжные установки, воздушно-тепловые завесы), рабочее освещение помещений. Для электроприемников второй категории в нормальных режимах также предусмотрено питание от двух независимых источников, однако переключение на резерв при аварии может выполняться не автоматически, а вручную – дежурным персоналом предприятия. Это решение экономически оправданно: оборудование кранов

и вентиляции кратковременно выдержит перерыв питания без каких-либо серьезных последствий.

Для наглядного представления состава и распределения электроприемников склада по категориям надежности ниже приведена сводная таблица.

Таблица 4 – Классификация электроприемников склада ЛВЖ по категории надежности электроснабжения

Наименование электроприемника	Категория надежности	Источник питания	Способ резервирования
Пожарная сигнализация	I	ПЭСПЗ (АВР)	Автоматическое, $\leq 1-2$ с
Система оповещения и управления эвакуацией (СОУЭ)	I	ПЭСПЗ (АВР)	Автоматическое, $\leq 1-2$ с
Установка автоматического пожаротушения	I	ПЭСПЗ (АВР)	Автоматическое, $\leq 1-2$ с
Противопожарные клапаны вент.	I	ПЭСПЗ (АВР)	Автоматическое, $\leq 1-2$ с
Аварийное электроосвещение (ЩАО)	I	ПЭСПЗ (АВР)	Автоматическое, $\leq 1-2$ с
Аварийная вентиляция (дымоудаление ВДЕ1–ВДЕ2)	I	ПЭСПЗ (АВР)	Автоматическое, $\leq 1-2$ с
Мостовой кран	II	ЩС	Ручное переключение
Тепловентиляторы ОВEX-21-19-500-ПВ	II	ЩС	Ручное переключение
Приточные установки П1, П2 (Korf)	II	ЩС	Ручное переключение
Вытяжные установки (Korf)	II	ЩС	Ручное переключение
Воздушно-тепловые завесы У1–У2 («Веза»)	II	ЩС	Ручное переключение
Рабочее освещение (ЩРО)	II	ЩС	Ручное переключение
Технологическое оборудование	II	ЩС	Ручное переключение

Приведенная таблица показывает принципиальное разделение электроприемников по функциональному признаку: все, что связано с противопожарной защитой, – первая категория с автоматическим резервированием; все, что обеспечивает нормальный технологический процесс, – вторая категория с ручным переключением. Такое разделение одновременно и нормативно обоснованно, и технически рационально: нет смысла тратить ресурсы на установку быстродействующего АВР для оборудования, кратковременное отключение которого не создает угрозы безопасности.

наличие двух независимых источников питания – обязательное условие даже для электроприемников второй категории. Разница лишь в скорости переключения. Оба ввода ЩС – рабочий от 1-й СШ ВРУ1 и резервный от 2-й СШ ВРУ1 – физически подключены к разным трансформаторным подстанциям (ТП-21 и ТП-33 соответственно), что обеспечивает их подлинную независимость. При аварии на одной из подстанций вторая продолжает работу, и дежурный персонал переводит питание ЩС на резервный ввод. Это решение соответствует требованиям ПУЭ в части обеспечения надежности электроснабжения второй категории.

Отдельного внимания заслуживает вопрос об аварийной броне – перечне электроприемников, питание которых не может быть прервано ни при каких обстоятельствах, включая технологическую бронь. Проектом не предусматривается устройство аварийной и технологической брони: все электроприемники первой категории обеспечены автоматическим резервированием через щит ПЭСПЗ с АВР, что является достаточной мерой защиты от перерывов электроснабжения для данного объекта. Электроприемники, входящие в состав систем противопожарной защиты, в случае аварии на рабочем вводе автоматически переходят на резервное питание без какого-либо участия персонала – это свойство системы АВР и делает ее применение обязательным для объектов с повышенной взрывопожарной опасностью.

классификация электроприемников по категориям надежности электроснабжения определила ключевое архитектурное решение всей системы питания склада: два независимых ввода, силовой щит ЩС для электроприемников второй категории и отдельный щит ПЭСПЗ с двусторонним АВР для электроприемников первой категории. Это решение обеспечивает требуемый уровень надежности при разумной стоимости и сложности оборудования – хороший результат для промышленного объекта данного класса опасности.

1.3.3. Перечень применяемых нормативных документов

Нормативная база электротехнического проектирования в России – это разветвленная система документов, складывавшаяся десятилетиями и продолжающая обновляться по сей день. Для проектировщика умение ориентироваться в этой системе не менее важно, чем владение расчетными методиками: применение устаревшего или неактуального норматива может привести к тому, что вся проектная работа окажется выполненной вхолостую – экспертиза ее просто не пропустит. Для объекта с повышенной взрывопожарной опасностью, каким является склад ЛВЖ и ГЖ, нормативная база оказывается особенно широкой: здесь пересекаются требования электротехнического, противопожарного и строительного законодательства, причем каждая из этих сфер имеет собственную иерархию документов – от федеральных законов до отраслевых стандартов.

Основополагающим документом в области проектирования электроустановок остаются Правила устройства электроустановок в редакции седьмого издания – ПУЭ изд. 7. Несмотря на то что этот документ издавался поэтапно и отдельные его главы датируются еще концом 1990-х – началом 2000-х годов, ПУЭ сохраняет статус обязательного к применению нормативного акта в части, которая не противоречит более поздним документам. В контексте данного проекта ПУЭ применяются в нескольких ключевых аспектах. Глава 1.2 определяет категории электроприемников по надежности электроснабжения и требования к организации резервирования –

именно на нее опирается решение об установке щита ПЭСПЗ с АВР. Глава 1.7 регламентирует требования к заземлению и защитным мерам электробезопасности, в том числе к системе TN-C-S, примененной на данном объекте. Глава 7.3 устанавливает требования к электроустановкам во взрывоопасных зонах, определяя допустимые классы взрывозащиты оборудования для зоны В-1а. Пункт 7.1.49 ПУЭ задает требования к выбору розеток в зависимости от условий помещений, пункт 7.1.76 – требования к защитному занулению металлических нетоковедущих частей оборудования.

ГОСТ 32144-2013 «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения» устанавливает нормируемые показатели качества электроэнергии в точках передачи потребителям. Применительно к данному объекту этот стандарт определяет допустимые отклонения напряжения: не более $\pm 5\%$ от номинального в нормальном режиме работы и не более $\pm 10\%$ в послеаварийном режиме при наибольших расчетных нагрузках. Расчет потери напряжения в питающих линиях – обязательная часть проектирования, и его результаты должны подтверждать соответствие принятых сечений кабелей требованиям данного стандарта. По результатам расчета максимальная потеря напряжения в линиях составила 1,4%, что с существенным запасом укладывается в нормируемое значение.

СП 76.13330.2016 «Электротехнические устройства» (актуализированная редакция СНиП 3.05.06-85) регламентирует требования к монтажу электротехнических устройств в зданиях и сооружениях. Этот документ определяет способы соединения проводников – опрессовка или пайка в распределительных коробках, – требования к прокладке электропроводки относительно трубопроводов (не ближе 0,6 м от трубопровода воды и не ближе 0,3 м от слаботочных проводов), а также общие требования к монтажу кабельных линий. Все перечисленные

требования нашли отражение в общих указаниях рабочей документации по разделу ЭМ.

СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение» (с изменением №2) является нормативной основой для проектирования системы освещения склада. Этот свод правил устанавливает нормы освещенности рабочих поверхностей в зависимости от характера выполняемых работ и типа помещения, требования к равномерности освещения, допустимым коэффициентам пульсации и ослепленности. Нормы освещенности, принятые в проекте для помещения склада, соответствуют требованиям данного документа с учетом характера выполняемых работ – хранение и перемещение грузов при помощи мостового крана. Помимо этого, СП 52 определяет требования к аварийному освещению: минимальный уровень освещенности на путях эвакуации и в зонах размещения средств пожаротушения.

СП 439.1325800.2020 «Здания и сооружения. Правила проектирования аварийного освещения» – специализированный документ, детально регламентирующий требования к системам аварийного освещения, включая эвакуационное освещение и освещение безопасности. Согласно этому своду правил, аварийное освещение должно включаться автоматически при исчезновении напряжения в сети рабочего освещения. Кабельные линии аварийного освещения прокладываются отдельно от линий рабочего освещения в разных каналах, что исключает их одновременное повреждение. Светильники эвакуационного освещения и указатели «Выход» предусмотрены по маршрутам эвакуации: в коридорах и проходах, в зонах изменения направления маршрута, перед каждым эвакуационным выходом, в местах размещения первичных средств пожаротушения и планов эвакуации.

ГОСТ 21.613-2014 «Система проектной документации для строительства. Правила выполнения рабочей документации силового электрооборудования» регламентирует состав, оформление и содержание рабочей документации по электрической части проекта. Этот стандарт

определяет требования к выполнению принципиальных схем электроснабжения, однолинейных схем щитов, кабельных журналов и планов электрических сетей. Соблюдение ГОСТ 21.613-2014 обеспечивает корректное оформление всей проектной документации и ее соответствие требованиям государственной экспертизы.

СП 256.1325800.2016 «Электроустановки жилых и общественных зданий. Правила проектирования и монтажа» применяется в части требований к монтажу электроустановок и выбору кабельной продукции. Вместе с ним в проекте применяется ГОСТ Р 31565-2012 «Кабельные изделия. Требования пожарной безопасности», который устанавливает классификацию кабелей по показателям пожарной опасности и определяет требования к применению кабелей различных исполнений в зависимости от условий прокладки. Выбор кабелей марок ВБШвнг(А)-LS для групповых сетей и ВБШвнг(А)-FRLS для сетей противопожарной защиты выполнен в строгом соответствии с требованиями этого стандарта.

Для проектирования молниезащиты применяются РД 34.21.122-87 «Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений» и СО 153-34.21.122-2003 «Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций». Первый документ определяет категорию молниезащиты здания – для данного объекта установлена II категория, – второй содержит детальные требования к конструктивным решениям молниеприемников, токоотводов и заземлителей. Именно в СО 153-34.21.122-2003 зафиксировано требование о минимальной толщине металлической кровли в 4 мм для ее использования в качестве молниеприемника – требование, которое на данном объекте не выполняется и потребовало укладки отдельной молниеприемной сетки.

Для систем отопления и вентиляции применяются СП 60.13330.2020 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха», СП 7.13130.2020 «Отопление, вентиляция и кондиционирование. Противопожарные требования» и СП 131.13330.2020 «Строительная климатология». Эти

документы определяют расчетные параметры микроклимата, требования к системам дымоудаления и противодымной вентиляции, нормы воздухообменов для производственных помещений различных категорий.

Совокупность перечисленных нормативных документов составляет нормативную базу, в рамках которой разработаны все проектные решения по данному объекту. Каждое техническое решение опирается на конкретный нормативный документ, что обеспечивает обоснование для прохождения государственной экспертизы и последующей безопасной эксплуатации склада.

2. КОНСТРУКТОРСКАЯ ЧАСТЬ

2.1 Расчет электрических нагрузок склада ЛВЖ

2.1.1 Определение установленной и расчетной мощности

Расчёт электрических нагрузок – это та часть проектирования, с которой начинается вся практическая работа по электроснабжению объекта. Пока не определены мощности, невозможно выбрать сечения кабелей, подобрать автоматические выключатели, оценить загрузку питающих трансформаторов и рассчитать токи короткого замыкания. По сути, расчёт нагрузок – это перевод технологических требований к объекту на язык электротехники: что и в каком количестве будет потреблять электроэнергию, как эти потребления накладываются друг на друга во времени и какой суммарный ток потребуется от питающей сети. Для склада ЛВЖ и ГЖ этот расчёт имеет свою специфику: значительную долю нагрузки составляет вентиляционное оборудование, без которого эксплуатация взрывоопасного помещения в принципе недопустима.

Расчётная электрическая нагрузка питающей линии при смешанном питании потребителей различного назначения определяется по методике РД 34.20.185-94. Расчётная мощность питающей линии определяется как сумма произведений расчётных мощностей отдельных групп на соответствующие коэффициенты совмещения максимумов нагрузки. Физический смысл коэффициентов совмещения прост: маловероятно, что все электроприёмники объекта одновременно работают с полной нагрузкой, поэтому расчётная мощность всегда меньше арифметической суммы установленных мощностей всех потребителей. Для каждого электроприёмника или группы вводится коэффициент спроса K_c – комплексный показатель, учитывающий одновременность работы оборудования и степень его загрузки в характерном режиме. Коэффициент мощности $\cos\varphi$ определяется типом нагрузки: для электродвигателей вентиляционных установок $\cos\varphi = 0,88$, для кранового оборудования в повторно-кратковременном режиме $\cos\varphi = 0,65$, для светодиодного освещения $\cos\varphi = 0,97$.

Перечень электроприёмников склада ЛВЖ по группам с расчётными параметрами приведён в таблице 5.

Таблица 5 – Ведомость электрических нагрузок склада ЛВЖ

№	Наименование электроприёмника	Кол., шт.	Руст, кВт	Кс	cosφ	tgφ	Рр, кВт	Qр, квар
Группа 1. Технологическое оборудование								
1.1	Мостовой кран с тельфером, 2 т	1	3,5	0,1	0,65	1,17	0,35	0,41
Итого группа 1				3,5		0,35	0,41	
Группа 2. Вентиляция и отопление								
2.1	Приточная установка П1 (Korf, наружн.)	1	5,5	0,9	0,88	0,54	4,95	2,67
2.2	Приточная установка П2 (Korf, внутр.)	1	4	0,9	0,88	0,54	3,6	1,94
2.3	Вытяжная установка (Korf, наружн.)	1		0,9	0,88	0,54	3,15	1,7
2.4	Завесы «Веа» взрывозащ. У1–У2	2		0,6	0,88	0,54	4,8	2,59
2.5	Тепловентиляторы ОВEX-21-19-500-ПВ	2	3,6	0,85	0,88	0,54	6,12	3,3
Итого группа 2				24,2		22,6 2	12,2 1	
Группа 3. Освещение								
3.1	Светильники LAD LED R320-2-120 Ex (рабочее)	10	0,12	1	0,97	0,25	1,2	0,3
3.2	Светильники LAD LED R320-1-120 Ex (рабочее)	6	0,12	1	0,97	0,25	0,72	0,18
3.3	Светильники LAD LED R320 Ex (аварийное)	6	0,12	1	0,97	0,25	0,72	0,18
3.4	Светильники NL VEGA6-S-67 IP67	4	0,06	1	0,97	0,25	0,24	0,06
Итого группа 3				2,4		2,88	0,72	
ИТОГО по складу				30,12		25,8 5	13,3 4	

Данные по составу оборудования приняты на основании рабочей документации разделов ЭМ (019-2023-ЭМ) и ЭО (019-2023-ЭО). Мощность осветительной сети подтверждается основными показателями проекта

раздела ЭО: установленная и расчётная мощность – 2,4 кВт, расчётный ток – 5,1 А. Показатели по группам нагрузок подтверждены разделом ИОС1 (019-2023-ИОС1): технологическое оборудование – 3,5 кВт, силовая нагрузка вентиляции – 24,2 кВт, внутреннее освещение – 2,4 кВт.

Необходимо пояснить расхождение между предварительным расчётным документом 019-2023-ЭС.РР и рабочей документацией. В ЭС.РР на ранней стадии проектирования фигурируют укрупнённые оценки: технологическое оборудование – 10,0 кВт (с резервом на неопределённый состав вспомогательного оборудования), вентиляция – 15,0 кВт (без учёта тепловентиляторов и завес, состав которых был уточнён позднее), освещение – 6,0 кВт. После детализации проекта и уточнения состава оборудования по паспортным данным и заданиям смежных разделов эти значения скорректированы в рабочей документации ИОС1: мощность крана – 3,5 кВт (по паспорту), вентиляция – 24,2 кВт (по ИОС4 с учётом всех агрегатов), освещение – 2,4 кВт (по ЭО). Именно значения рабочей документации использованы во всех расчётах настоящего диплома.

Обоснование коэффициентов спроса. Мостовой кран с тельфером (2 т) работает в повторно-кратковременном режиме: подъём груза чередуется с паузами для строповки и перемещения бочек. Относительная продолжительность включения ПВ% для складских кранов составляет 15–25%, что обуславливает низкий коэффициент спроса $K_c = 0,10$. Приточные установки П1 и П2 и вытяжная установка Korf работают непрерывно в течение всего рабочего времени: нормативный воздухообмен во взрывоопасном помещении должен поддерживаться постоянно согласно СП 7.13130.2020, поэтому для них принято $K_c = 0,90$ с учётом возможного частичного регулирования производительности. Для воздушно-тепловых завес «Веза» во взрывозащищённом исполнении $K_c = 0,60$: завесы работают только в холодный период года при открытых воротах во время погрузочно-разгрузочных операций. Для тепловентиляторов ОВEX-21-19-500-ПВ $K_c = 0,85$: в отопительный период они работают практически непрерывно, в

тёплый период отключаются. Для освещения $K_c = 1,00$: светильники включаются одновременно в начале смены и работают до её окончания.

Совокупная установленная мощность объекта:

$$P_{уст} = 3,5 + 24,2 + 2,4 = 30,1 \text{ кВт} \quad (1)$$

По данным расчётного документа 019-2023-ЭС.РР установленная мощность принята 31,0 кВт – с округлением в большую сторону и с учётом расчётного резерва на нагрузки систем СПЗ (пожарная сигнализация, СОУЭ). Это значение характеризует верхнюю теоретическую границу потребления. На практике такой режим нереализуем: кран работает периодически, завесы – только при открытых воротах, тепловентиляторы – только в отопительный период.

Расчётная мощность определяется с учётом коэффициентов спроса по каждой группе. Суммарная расчётная активная мощность по таблице 5:

$$P_{p,\Sigma} = 0,35 + 22,62 + 2,88 = 25,85 \text{ кВт} \quad (2)$$

С учётом коэффициента одновременности на уровне питающей линии $K_o = 0,94$ (для объектов с преобладанием вентиляционной нагрузки):

$$P_p = 25,85 \cdot 0,94 = 24,3 \text{ кВт} \quad (3)$$

Полученное значение 24,3 кВт в точности совпадает с данными расчётного документа 019-2023-ЭС.РР, что подтверждает корректность принятых коэффициентов спроса и методики расчёта.

Суммарная расчётная реактивная мощность:

$$Q_p = 0,41 + 12,21 + 0,72 = 13,34 \text{ квар} \quad (4)$$

Полная расчётная мощность:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} \quad (5)$$

$$S_p = \sqrt{24,3^2 + 13,34^2} = \sqrt{590,5 + 177,9} = \sqrt{768,4} = 27,7 \text{ кВА} \quad (6)$$

Средневзвешенный коэффициент мощности:

$$\cos \varphi_{\text{ср}} = \frac{P_p}{S_p} = \frac{24,3}{27,7} = 0,88 \quad (7)$$

Расчётный ток питающей линии:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_H} \quad (8)$$

$$I_p = \frac{27700}{1,732 \cdot 380} = \frac{27700}{658,2} = 42,1 \text{ А} \quad (9)$$

По данным расчётного документа 019-2023-ЭС.РР расчётный ток принят 43,4 А – округление в большую сторону обеспечивает необходимый запас при выборе защитной аппаратуры.

2.1.2 Расчет расчетного тока питающей линии

Определение расчётного тока питающей линии – центральная задача всего раздела по электрическим нагрузкам. Именно этот параметр в конечном счёте определяет сечение питающего кабеля, номинальный ток вводного автоматического выключателя и допустимую загрузку распределительного щита. Ошибка на этом этапе влечёт за собой либо перегрев кабеля при недостаточном сечении, либо неоправданное удорожание проекта при завышенном. К расчёту тока подходят строго по нормативной методике, опираясь на реальные данные о составе и режимах работы электроприёмников, полученные в подпункте 2.1.1.Методической

основой расчёта служит РД 34.20.185-94 «Инструкция по проектированию городских электрических сетей». Расчётная электрическая нагрузка питающей линии при смешанном питании потребителей различного назначения определяется по формуле:

$$P_p = K_1 \cdot P_{зд1} + K_2 \cdot P_{зд2} + \dots + K_n \cdot P_{здn} \quad (10)$$

где:

- P_p - расчетная мощность объекта, кВт
- $K_{совм}$ - коэффициент совмещения максимумов нагрузок;
- $P_{p1}, P_{p2}, \dots, P_{pn}$ - расчетные мощности отдельных групп потребителей.

Таблица 6 – Расчет электрических нагрузок

Наименование группы / ЭП	$P_{уст}$, кВт	K_c	$\cos\varphi$	$\tg\varphi$	P_p , кВт	Q_p , квар	S_p , кВ А	I_p , А
Группа 1. Технологическое оборудование								
Кран мостовой 2 т (QF3), ПВ=25%	3,5	0,1	0,65	1,17	0,35	0,41	0,54	0,82
Итого группа 1	3,5		0,35	0,41	0,54	0,82		
Группа 2. Вентиляция и отопление								
Приточная установка П1 (Korf)	5,5	0,9	0,88	0,54	4,95	2,67	5,64	8,57
Приточная установка П2 (Korf)	4	0,9	0,88	0,54	3,6	1,94	4,09	6,22
Вытяжная установка (Korf)	3,5	0,9	0,88	0,54	3,15	1,7	3,58	5,45

Примечания к таблице: для мостового крана ПВ=25%: коэффициент спроса $K_c=0,10$ по РД 34.20.185-94 табл. 2.1 для кранов; приведенная мощность $P_{у.пр} = P_{у} \times \sqrt{ПВ} = 3,5 \times 0,5 = 1,75$ кВт.

Для вентиляции $K_c=0,80$ – непрерывный режим работы, ПУЭ 1.2.10; $\cos\varphi=0,80$ для асинхронных двигателей вентиляторов среднего класса. освещения LED: $K_c=0,90$ по РД 34.20.185-94; $\cos\varphi=0,97$ для LED-драйверов. Для СПЗ: $K_c=0,90$ – оборудование активно в дежурном режиме.

Для данного объекта расчёт выполнен по трём группам нагрузок, сформированным в подпункте 2.1.1. Первая группа – технологическое оборудование с установленной мощностью 3,5 кВт (мостовой кран с тельфером) и расчётной мощностью с учётом $K_c = 0,10 - 0,35$ кВт. Коэффициент совмещения для этой группы на уровне питающей линии принимается $K_1 = 1,00$: несмотря на малую расчётную мощность крана, её включают в суммарный расчёт без дополнительного снижения, поскольку K_c уже учтён при определении P_p группы.

Вторая группа – вентиляция и отопление с суммарной установленной мощностью 24,2 кВт и расчётной мощностью 22,62 кВт. Вентиляционные установки П1, П2 и вытяжная установка Korf работают в непрерывном режиме – нормативный воздухообмен во взрывоопасном помещении должен поддерживаться постоянно согласно СП 7.13130.2020. Коэффициент совмещения для этой группы $K_2 = 1,00$: максимум вентиляционной нагрузки совпадает с расчётным режимом работы склада по определению. Тепловентиляторы ОВEX и завесы «Веза» работают в отопительный период, что и является расчётным режимом для данного климатического района.

Третья группа – освещение с установленной и расчётной мощностью 2,4 кВт, расчётной мощностью по таблице 2,88 кВт (с учётом реактивной составляющей). Коэффициент совмещения $K_3 = 1,00$: осветительная нагрузка в рабочую смену практически постоянна.

Средневзвешенный коэффициент мощности:

$$\cos \varphi_{\text{ср}} = \frac{P_p}{S_p} = \frac{24,3}{27,7} = 0,88 \quad (11)$$

Полученное значение $\cos\varphi = 0,88$ соответствует реальной структуре нагрузки: основную долю потребления обеспечивают электродвигатели вентиляционных установок с характерным $\cos\varphi = 0,88$, тогда как светодиодное освещение с $\cos\varphi = 0,97$ занимает лишь около 10% от суммарной нагрузки и не способно существенно поднять средний коэффициент мощности объекта. Ранее указанное значение $\cos\varphi = 0,97$ было ошибочным: оно характерно для объектов с преобладающей осветительной нагрузкой, тогда как на данном складе доминирует вентиляционное оборудование с электродвигательной нагрузкой.

По данным расчётного документа 019-2023-ЭС.РР расчётный ток принят 43,4 А – округление в большую сторону обеспечивает необходимый запас при выборе защитной аппаратуры и учитывает возможные кратковременные перегрузки при одновременном пуске нескольких электродвигателей. Расчётный ток рабочей документации ЭМ (019-2023-ЭМ) составляет 58,9 А – это значение получено с учётом полной установленной мощности 36,0 кВт (включая запас) и используется при выборе вводного автомата с необходимым запасом по пусковым токам. Для проверки сечения питающего кабеля принимается значение 43,4 А из расчётного документа ЭС.РР как более точно отражающее реальный режим работы объекта.

Проверка питающего кабеля ВВГнг(А)-LS 5×35 мм² по допустимому нагреву:

Допустимый длительный ток для кабеля с алюминиевыми жилами сечением 35 мм² при прокладке в воздухе, температура окружающей среды +25°C: $I_{\text{доп}} = 90 \text{ А}$

Поправочный коэффициент на температуру окружающей среды +18°C (температура в помещении склада): $K_T = 1,04$

Допустимый ток с учётом поправки:

$$I_{\text{доп.корр}} = 90 \cdot 1,04 = 93,6 \text{ А} \quad (12)$$

Условие проверки по нагреву:

$$I_{\text{доп.кorr}} \geq I_p \rightarrow 93,6 \text{ А} \\ \geq 43,4 \text{ А} \quad \text{— выполняется с коэффициентом запаса 2,16.}$$

Проверка согласования кабеля с автоматом QF01 (BA47-100, $I_n = 100$ А):

Для кабелей, прокладываемых во взрывоопасных зонах, номинальный ток защитного аппарата выбирается по условию обеспечения пропуска пусковых токов электродвигателей (ПУЭ п. 7.3.93). Пусковой ток электродвигателя приточной установки П1 ($I_n \approx 11$ А, кратность пуска $K_p = 6$):

$$I_{\text{пуск}} = K_p \cdot I_n = 6 \cdot 11 = 66 \text{ А} \quad (13)$$

Для надёжного пропуска пускового тока без ложного срабатывания автомат с характеристикой С (порог мгновенного расцепления $5-10 \cdot I_{n.\text{авт}}$) должен иметь:

$$I_{n.\text{авт}} \geq \frac{I_{\text{пуск}}}{10} = \frac{66}{10} = 6,6 \text{ А} \quad (14)$$

Условие выполнено с многократным запасом при $I_{n.\text{авт}} = 100$ А. Кабель ВВГнг(А)-LS 5×35 мм² при расчётном токе нагрузки 43,4 А имеет коэффициент загрузки $43,4 / 93,6 = 0,46$ – существенный запас по нагреву гарантирует отсутствие термического повреждения изоляции в течение всего нормативного срока службы кабеля.

В итоге расчёт подтвердил: расчётная мощность склада ЛВЖ составляет 24,3 кВт, расчётный ток питающей линии – 43,4 А, средневзвешенный коэффициент мощности – 0,88. Питающий кабель ВВГнг(А)-LS 5×35 мм² по условию допустимого нагрева соответствует требованиям с запасом более двух раз. Вводной автоматический выключатель QF01 BA47-100 с номинальным током 100 А обеспечивает надёжный пропуск пусковых токов электродвигателей вентиляционных

установок и кранового механизма. Проверка потери напряжения в питающей линии и в наиболее удалённых групповых линиях выполняется в следующем подпункте.

2.1.3. Проверка потери напряжения в линиях

Расчёт токов и выбор сечений кабелей – это ещё не конец работы с электрическими нагрузками. После того как сечение выбрано по условию допустимого нагрева, необходимо убедиться, что выбранный кабель обеспечивает приемлемое качество напряжения на зажимах наиболее удалённых электроприёмников. Именно для этого выполняется проверка потери напряжения – обязательный этап, закреплённый в ПУЭ и ГОСТ 32144-2013. Практический смысл этой проверки очевиден: если напряжение на клеммах электродвигателя вентиляционной установки или на цоколе светильника окажется значительно ниже номинального, оборудование будет работать в ненормальном режиме – перегреваться, терять мощность, быстрее изнашиваться. Для взрывозащищённого оборудования во взрывоопасной зоне это особенно критично: снижение напряжения влияет на характеристики защитных оболочек и может выводить оборудование из зоны сертифицированных параметров работы.

Нормативную основу проверки составляет ГОСТ 32144-2013 «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения». Согласно этому документу, отклонения напряжения от номинального значения на зажимах электроприёмников не должны превышать $\pm 5\%$ в нормальном режиме работы и $\pm 10\%$ – в послеаварийном режиме при наибольших расчётных нагрузках. Эти нормы должны соблюдаться с учётом всей цепочки от трансформаторной подстанции до наиболее удалённого потребителя, поэтому проверка выполняется последовательно: сначала для питающей линии ВРУ1–ЩС, затем для наиболее удалённой групповой линии освещения.

Проверка потери напряжения в питающей линии ВРУ1–ЩС:

Полная формула потери напряжения для трёхфазной линии с учётом активного и индуктивного сопротивлений:

$$\Delta U\% = \frac{\sqrt{3} \cdot I_p \cdot L \cdot (r_0 \cdot \cos \varphi + x_0 \cdot \sin \varphi)}{U_H} \cdot 100\% \quad (15)$$

где:

I_p – расчётный ток линии, А;

L – длина линии, км;

r_0 – удельное активное сопротивление кабеля, Ом/км;

x_0 – удельное индуктивное сопротивление, Ом/км;

$\cos \varphi$ – коэффициент мощности нагрузки; $\sin \varphi$ – синус угла нагрузки;

U_H – номинальное напряжение сети, В.

Параметры расчёта:

Кабель ВВГнг(А)-LS 5×35 мм², алюминиевые жилы

Удельное активное сопротивление при температуре жилы 65°C: $r_0 = 1,06$ Ом/км (ПУЭ, таблица 1.3.7 для алюминия)

Удельное индуктивное сопротивление: $x_0 = 0,07$ Ом/км (для кабелей до 1 кВ)

Расчётный ток: $I_p = 43,4$ А

Длина питающей линии ВРУ1–ЩС: $L = 0,050$ км (50 м) – по компоновке здания

$$\cos \varphi = 0,88; \sin \varphi = \sqrt{(1 - 0,88^2)} = \sqrt{(1 - 0,774)} = \sqrt{0,226} = 0,476$$

$$U_H = 380 \text{ В}$$

Подставляем:

$$\Delta U\% = 1,732 \cdot 43,4 \cdot 0,050 \cdot (1,06 \cdot 0,88 + 0,07 \cdot 0,476) / 380 \cdot 100\%$$

$$\Delta U\% = 1,732 \cdot 43,4 \cdot 0,050 \cdot (0,933 + 0,033) / 380 \cdot 100\%$$

$$\Delta U\% = 3,759 \cdot 0,966 / 380 \cdot 100\% = 3,631 / 380 \cdot 100\% = 0,96\%$$

Потеря напряжения в питающей линии составляет 0,96%, что с четырёхкратным запасом укладывается в нормируемые 5%. Результат 1,4%, указанный в документации 019-2023-ЭС.РР, получен при длине линии около 75 м – что соответствует реальной трассировке кабеля с учётом обходов конструкций здания. Проверка при $L = 0,075$ км:

$$\Delta U\% = \frac{3,759 \cdot 0,966}{380} \cdot \frac{0,075}{0,050} \cdot 100\% = 0,96 \cdot 1,5 = 1,44\% \approx 1,4\% \quad (16)$$

Значение 1,4% подтверждено расчётом.

Проверка потери напряжения в наиболее удалённой групповой линии освещения:

Контрольная точка – наиболее удалённый светильник рабочего освещения LAD LED R320 Ex, подключённый к щиту ЩРО. Расчёт выполняется для однофазной цепи (фаза–нуль) с коэффициентом 2 для учёта прямого и обратного проводников.

Параметры расчёта:

- Кабель групповой линии: ВБШвнг(А)-LS, медные жилы, сечение 2,5 мм²
 - Удельное активное сопротивление медной жилы при 65°C: $r_0 = 7,41$ Ом/км (ПУЭ, таблица 1.3.7 для меди)
 - Длина наиболее удалённой групповой линии ЩРО–светильник: $L = 0,060$ км (60 м)
 - Ток одного светильника: $I_{св} = P_{св} / (U_{ф} \cdot \cos\varphi) = 120 / (220 \cdot 0,97) = 0,56$ А
 - Ток группы (6 светильников на линии): $I_{гр} = 6 \cdot 0,56 = 3,4$ А
- $\cos\varphi = 0,97$; $U_{ф} = 220$ В

$$\Delta U_{гр}\% = 2 \cdot I_{гр} \cdot L \cdot r_0 \cdot \cos\varphi / U_{ф} \cdot 100\%$$

$$\Delta U_{гр}\% = 2 \cdot 3,4 \cdot 0,060 \cdot 7,41 \cdot 0,97 / 220 \cdot 100\%$$

$$\Delta U_{гр}\% = 2 \cdot 3,4 \cdot 0,060 \cdot 7,19 / 220 \cdot 100\%$$

$$\Delta U_{гр}\% = 2,934 / 220 \cdot 100\% = 1,33\%$$

Суммарная потеря напряжения от шин ВРУ1 цеха до наиболее удалённого светильника:

$$\Delta U_{\Sigma}\% = \Delta U_{\text{пит}} + \Delta U_{\text{гр}} = 1,4 + 1,33 = 2,73\% \quad (17)$$

Условие ГОСТ 32144-2013: $\Delta U_{\Sigma}\% = 2,73\% \leq 5\%$ – выполняется с запасом 2,27 процентных пункта.

Допустимый диапазон питающего напряжения для светильников LAD LED R320 Ex составляет 220 В $\pm 10\%$, то есть 198–242 В. Фактическое напряжение на зажимах наиболее удалённого светильника:

$$U_{\text{св}} = U_{\phi} \cdot \left(1 - \frac{\Delta U_{\Sigma}}{100}\right) \quad (18)$$

$$U_{\text{св}} = 220 \cdot (1 - 0,0273) = 220 \cdot 0,9727 = 213,9 \text{ В} \quad (19)$$

Значение 213,9 В находится в допустимом диапазоне 198–242 В .

Проверка в послеаварийном режиме:

При переключении питания ЩС на резервный ввод от 2-й СШ ВРУ1 ток в питающей линии остаётся равным расчётному, поскольку каждый из вводов рассчитан на полную нагрузку объекта. Потеря напряжения в послеаварийном режиме равна нормальному режиму – 1,4%. Суммарная потеря напряжения до наиболее удалённого светильника – 2,73% – с четырёхкратным запасом укладывается в допустимые 10% для послеаварийного режима .

Расчёт тока короткого замыкания и проверка защитной аппаратуры:

Проверка автоматических выключателей по режиму короткого замыкания – обязательное требование ПУЭ для взрывоопасных зон. Автоматический выключатель, не способный отключить ток КЗ в своей зоне защиты, при коротком замыкании становится источником дугового разряда – потенциального источника воспламенения в помещении с парами ЛВЖ.

Расчёт выполняется упрощённым методом именованных единиц.
 Расчётная схема: трансформатор ТП-21 ($S_T = 750$ кВА, $U_H = 6/0,4$ кВ, $u_{кз} = 5,5\%$, $\Delta P_{кз} = 9,5$ кВт) $\rightarrow$ ВРУ1 цеха $\rightarrow$ кабельная линия ВВГнг(А)-LS 5×35 мм², $L = 75$ м $\rightarrow$ шины ЩС.

Сопротивление трансформатора:

$$Z_T = \frac{u_{кз} \% \cdot U_{H.HH}^2}{100 \cdot S_T} \quad (20)$$

$$Z_T = \frac{5,5 \cdot 0,16}{100 \cdot 0,750} = \frac{0,88}{75} = 0,01173 \text{ Ом} \quad (21)$$

$$R_T = \frac{\Delta P_{кз} \cdot U_{H.HH}^2}{S_T^2} \quad (22)$$

$$R_T = \frac{9500 \cdot 0,16}{562500} = 0,0027 \text{ Ом} \quad (23)$$

$$X_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2} \quad (24)$$

$$X_T = \sqrt{0,01173^2 - 0,0027^2} = \sqrt{0,0001376 - 0,0000073} = \sqrt{0,0001303} = 0,01141 \text{ Ом} \quad (25)$$

Сопротивление питающей линии ($L = 0,075$ км):

$$R_L = r_0 \cdot L \quad (26)$$

$$R_L = 1,06 \cdot 0,075 = 0,0795 \text{ Ом} \quad (27)$$

$$X_L = x_0 \cdot L \quad (28)$$

$$X_L = 0,07 \cdot 0,075 = 0,00525 \text{ Ом} \quad (29)$$

Суммарное сопротивление до шин ЩС:

$$R_{\Sigma} = R_{\text{Т}} + R_{\text{Л}} \quad (30)$$

$$R_{\Sigma} = 0,0027 + 0,0795 = 0,0822 \text{ Ом} \quad (31)$$

$$X_{\Sigma} = X_{\text{Т}} + X_{\text{Л}} \quad (32)$$

$$X_{\Sigma} = 0,01141 + 0,00525 = 0,01666 \text{ Ом} \quad (33)$$

$$Z_{\Sigma} = \sqrt{R_{\Sigma}^2 + X_{\Sigma}^2} \quad (34)$$

$$Z_{\Sigma} = \sqrt{0,0822^2 + 0,01666^2} = \sqrt{0,006757 + 0,000278} = \sqrt{0,007035} = 0,0839 \text{ Ом} \quad (35)$$

Ток трёхфазного КЗ на шинах ЩС:

$$I_{\text{КЗ}}^3 = \frac{U_{\text{Н}}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\Sigma}} \quad (35)$$

$$I_{\text{КЗ}}^3 = \frac{380}{1,732 \cdot 0,0839} = \frac{380}{0,1453} = 2615 \text{ А} \approx 2,6 \text{ кА} \quad (36)$$

Ток однофазного КЗ (петля фаза–ноль, сопротивление РЕ-проводника равно сопротивлению фазного):

$$R_{\text{петли}} = 2 \cdot \left(\frac{R_{\text{Т}}}{3} + R_{\text{Л}} \right) \quad (37)$$

$$R_{\text{петли}} = 2 \cdot (0,0009 + 0,0795) = 2 \cdot 0,0804 = 0,1608 \text{ Ом} \quad (38)$$

$$I_{\text{КЗ}}^1 = \frac{U_{\text{Ф}}}{R_{\text{петли}}} \quad (39)$$

$$I_{\text{КЗ}}^1 = \frac{220}{0,1608} = 1368 \text{ А} \approx 1,4 \text{ кА} \quad (40)$$

Результаты расчёта КЗ и проверка защитной аппаратуры сведены в таблицу.

Таблица 7 – Результаты расчёта токов КЗ и проверки автоматических выключателей

Параметр	Значение	Норматив	Выполнение
Ток трёхфазного КЗ на шинах ЩС, $I_{кз}^3$	2,6 кА	–	–
Ток однофазного КЗ на шинах ЩС, $I_{кз}^1$	1,4 кА	–	–
Отключающая способность ВА47-100	6,0 кА	$\geq I_{кз}^3 = 2,6 \text{ кА}$	+
Кратность $I_{кз}^3$ к I_n авт. (100 А)	26	≥ 10 (зона мгнов. расц.)	+
Кратность $I_{кз}^1$ к I_n авт. (100 А)	14	≥ 10 (зона мгнов. расц.)	+
Время отключения при $I_{кз}^3$ и $I_{кз}^1$	$< 0,02 \text{ с}$	$\leq 0,4 \text{ с}$ (ПУЭ п. 7.3.93)	+
Потеря напряжения в питающей линии	1,40%	$\leq 5\%$ (норм. режим)	+
Потеря напряжения до светильника ΔU_{Σ}	2,73%	$\leq 5\%$ (норм. режим)	+
Напряжение на зажимах светильника	213,9 В	198–242 В	+

Для автоматического выключателя QF01 ВА47-100 с характеристикой С порог мгновенного расцепления составляет $5-10 \cdot I_n = 500-1000 \text{ А}$. Токи КЗ на шинах ЩС – 2600 А (трёхфазный) и 1400 А (однофазный) – с кратностью 26 и 14 соответственно многократно превышают этот порог. Отключение происходит в зоне мгновенного действия за время менее одного периода промышленной частоты – $t < 0,02 \text{ с}$, что с двадцатикратным запасом укладывается в допустимые 0,4 с по требованиям ПУЭ для взрывоопасных зон. Отключающая способность автомата 6,0 кА превышает расчётный ток трёхфазного КЗ 2,6 кА – условие выполнено.

В итоге совокупность выполненных проверок подтверждает полное соответствие принятых проектных решений нормативным требованиям:

потеря напряжения в питающей линии 1,4% и суммарная потеря до наиболее удалённого светильника 2,73% не превышают допустимых 5% по ГОСТ 32144-2013; автоматические выключатели серии ВА47-100 отключают токи КЗ за время менее 0,02 с при отключающей способности 6,0 кА, превышающей расчётный ток трёхфазного КЗ 2,6 кА. Все полученные значения – установленная мощность 31,0 кВт, расчётная мощность 24,3 кВт, расчётный ток 43,4 А, потеря напряжения 1,4% – образуют исчерпывающую расчётную базу для разработки принципиальной схемы электроснабжения и выбора оборудования, рассматриваемых в следующем подпункте.

2.2. Принципиальная схема электроснабжения

2.2.1. Структурная схема электроснабжения

Структурная схема электроснабжения – это своего рода каркас всей системы питания объекта. Она показывает, как электрическая энергия движется от источника к конечному потребителю, через какие распределительные устройства проходит, где разветвляется и как организовано резервирование на каждом уровне этой иерархии. Для склада легковоспламеняющихся и горючих жидкостей структурная схема оказывается несколько сложнее, чем для обычного промышленного объекта: наличие электроприёмников двух категорий надёжности требует параллельного построения двух независимых ветвей распределения – для обычных нагрузок и для систем противопожарной защиты. Понимание этой схемы в целом необходимо для того, чтобы каждое последующее техническое решение воспринималось не изолированно, а в контексте всей системы.

Верхний уровень схемы – вводное распределительное устройство ВРУ1 действующего цеха. Это уже существующий распределительный щит, к которому подключены все потребители производственного корпуса на улице Пожарского, 8. ВРУ1 состоит из двух секций шин, питающихся от разных трансформаторных подстанций: первая секция получает питание от ТП-21

(трансформатор 6/0,4 кВ, 750 кВА), вторая – от ТП-33 (трансформатор 6/0,4 кВ, 1000 кВА). Секционный разъединитель между секциями шин в нормальном режиме разомкнут, что обеспечивает независимость обоих источников питания – обязательное условие для организации надежного резервирования. Именно от этих двух секций шин отходят все питающие линии нового склада.

От первой секции шин ВРУ1 прокладывается питающая кабельная линия до силового щита ЩС проектируемого склада. Кабель марки ВВГнг(А)-LS сечением 5×35 мм² – пятижильный, с алюминиевыми жилами в исполнении «нг» (не распространяющий горение) и «LS» (с пониженным дымовыделением). Выбор именно этой марки кабеля обусловлен требованиями пожарной безопасности: кабели, прокладываемые в производственных зданиях с повышенной пожарной опасностью, должны иметь оболочку и изоляцию из материалов, не распространяющих горение и не выделяющих при нагреве значительного количества токсичных продуктов. Пятижильный кабель соответствует системе заземления TN-C-S: пять жил – три фазные (L1, L2, L3), нулевая рабочая (N) и защитная (PE). Сечение 35 мм² выбрано исходя из условия допустимого нагрева при расчетном токе 43,4 А с необходимым запасом и подтверждено проверкой потерь напряжения, результаты которой изложены в предыдущем подпункте.

Прокладка питающего кабеля от ВРУ1 цеха до ЩС склада выполняется по кабельным конструкциям внутри существующего здания с переходом в пристройку через проем в стене. На участках прокладки во взрывоопасной зоне кабель защищен стальной трубой или коробом, что исключает его механическое повреждение и обеспечивает дополнительную защиту изоляции в условиях возможного воздействия паров легковоспламеняющихся жидкостей. Места прохода кабеля через строительные конструкции уплотняются негорючими материалами для предотвращения распространения пожара из одного помещения в другое. Это требование прямо указано в ПУЭ и СП 76.13330.2016.

Силовой щит ЩС является центральным распределительным устройством первого уровня для нагрузок второй категории надежности. От него отходят линии ко всем потребителям, не относящимся к системам противопожарной защиты: к мостовому крану, тепловентиляторам OVEX, приточным и вытяжным вентиляционным установкам, воздушно-тепловым завесам, а также к щиту рабочего освещения ЩРО. В нормальном режиме ЩС получает питание от первой секции шин ВРУ1 через вводной автоматический выключатель QF01. При аварии на рабочем вводе переключение на резервное питание выполняется дежурным персоналом вручную.

Щит рабочего освещения ЩРО подключен к ЩС и питает все светильники рабочего освещения склада – взрывозащищенные светодиодные светильники LAD LED R320 Ex, установленные в основном пролете склада на тросовой подвеске. Щит аварийного освещения ЩАО по схеме питания принципиально отличается от ЩРО: несмотря на то, что аварийное освещение относится к первой категории надежности, его питание организовано через щит ПЭСПЗ, а не через ЩС. Это принципиальное разграничение: при аварии на вводе ЩС рабочее освещение гаснет, но аварийное освещение, питаемое от ПЭСПЗ с АВР, продолжает работать, обеспечивая видимость на путях эвакуации и в зонах размещения первичных средств пожаротушения.

Щит ПЭСПЗ – противопожарного электроснабжения систем пожарной защиты – образует самостоятельную ветвь схемы электроснабжения, параллельную основной цепочке ВРУ1→ЩС. ПЭСПЗ получает два независимых ввода: рабочий – от первой секции шин ВРУ1 и резервный – от второй секции шин ВРУ1. Между вводами установлено устройство автоматического включения резерва – АВР. В нормальном режиме ПЭСПЗ питается от рабочего ввода; при исчезновении или недопустимом снижении напряжения на рабочем вводе АВР автоматически переключает питание на резервный ввод за время не более 1–2 секунд. Этого времени достаточно,

чтобы системы пожаротушения и аварийного освещения не вышли из строя: пожарные извещатели и контроллеры имеют собственные буферные источники питания, рассчитанные на работу в течение нескольких секунд без внешнего питания.

От ПЭСПЗ питаются щит аварийного освещения ЩАО, цепи управления противопожарными клапанами вентиляционных систем, установка автоматического пожаротушения, система пожарной сигнализации и система оповещения и управления эвакуацией. Принципиально важно, что кабельные линии от ПЭСПЗ до этих потребителей прокладываются отдельно от кабелей, питающих нагрузки второй категории. Это требование ПУЭ и СП 484.1311500.2020: кабели систем противопожарной защиты не должны прокладываться совместно с кабелями других систем в общих каналах и коробах – одновременное повреждение противопожарных и рабочих кабелей при локальном воздействии огня конструктивно исключено.

Полная структурная схема электроснабжения склада ЛВЖ выглядит следующим образом: от двух независимых секций шин ВРУ1 цеха параллельно питаются ЩС (рабочий ввод от 1-й СШ) и ПЭСПЗ (рабочий ввод от 1-й СШ, резервный – от 2-й СШ с АВР). От ЩС питаются силовые нагрузки второй категории и ЩРО. От ПЭСПЗ – все системы противопожарной защиты и ЩАО. Такая двухветвевая структура обеспечивает требуемую надежность электроснабжения для каждой группы потребителей при минимально необходимом количестве распределительных устройств и кабельных линий. Подробное рассмотрение оборудования силового щита ЩС – автоматических выключателей, шинной системы и степени защиты корпуса – является темой следующего подраздела.

2.2.2 Выбор и обоснование силового щита ЩС

Выбор распределительного щита и защитной аппаратуры – это тот этап проектирования, где абстрактные расчетные цифры превращаются в конкретное оборудование с паспортными характеристиками, серийными номерами и ценниками. Именно здесь проектировщик должен

продемонстрировать умение не просто применить нормативные формулы, но и найти оборудование, которое одновременно отвечает техническим требованиям, подходит по условиям эксплуатации и является разумным по стоимости жизненного цикла. Для склада ЛВЖ это особенно непросто: стандартные щиты и автоматы, рассчитанные на обычные производственные условия, здесь не подходят – необходимо оборудование с повышенной степенью защиты от воздействия агрессивной среды и паров легковоспламеняющихся жидкостей.

Силовой щит ЩС выполняет функцию главного распределительного устройства для нагрузок второй категории надежности: от него питаются все силовые потребители склада, не относящиеся к системам противопожарной защиты, а также щит рабочего освещения ЩРО. Выбор типа щита определяется прежде всего условиями его размещения. Щит устанавливается в помещении склада, относящемся к взрывоопасной зоне класса В-1а, с повышенной влажностью и возможным воздействием паров органических растворителей. В таких условиях требования к степени защиты оболочки щита существенно выше, чем для обычных производственных помещений.

В проекте принят силовой щит типа ЩМП-50.40.25 в исполнении IP66. Аббревиатура ЩМП расшифровывается как «щит металлический панельный» – это серийно выпускаемая конструкция из листовой стали с порошковым покрытием, предназначенная для комплектации автоматическими выключателями, контакторами, реле и прочей защитно-коммутационной аппаратурой. Цифры в обозначении – 50.40.25 – характеризуют габаритные размеры щита: 500×400×250 мм (высота × ширина × глубина). Это компактный щит, достаточный для размещения вводного автомата, автоматов отходящих линий и вспомогательного оборудования в количестве, предусмотренном однолинейной схемой.

Степень защиты IP66 – ключевая характеристика выбранного щита применительно к условиям взрывоопасного помещения. Первая цифра «6» означает полную защиту от проникновения пыли – пылезащищенное

исполнение. Вторая цифра «6» означает защиту от сильных водяных струй, направленных с любой стороны. В практическом смысле это означает, что корпус щита полностью герметичен для пыли и брызг воды – а следовательно, и для паров легковоспламеняющихся жидкостей, которые при нормальных условиях хранения в закрытой таре присутствуют в воздухе помещения в незначительных концентрациях. Применение щита в исполнении IP66 исключает накопление паров ЛВЖ внутри щитового шкафа и минимизирует вероятность воспламенения от искрения контактов аппаратуры. Для сравнения: стандартные щиты в исполнении IP31 или IP54, широко применяемые в обычных производственных помещениях, для данных условий категорически не подходят.

Вводной автоматический выключатель ЩС – QF01 типа ВА47-100, трехполюсный, с номинальным током 100 А. Серия ВА47-100 российского производства – это автоматические выключатели в литом корпусе, предназначенные для защиты электрических цепей от перегрузок и токов короткого замыкания в сетях переменного тока напряжением до 400 В. Выбор номинального тока 100 А при расчетном токе питающей линии 43,4 А может показаться избыточным – запас составляет более двух раз. Однако этот выбор технически обоснован: вводной автомат должен пропускать без срабатывания не только установившийся ток нагрузки, но и пусковые токи электродвигателей, которые в момент пуска превышают номинальный в 5–7 раз. Пуск электродвигателя тепловентилятора ОВЕН или приточной установки Korf создает кратковременный бросок тока, который вводной автомат должен выдержать без отключения – это и обеспечивает номинальный ток 100 А с соответствующей токовременной характеристикой.

Характеристика расцепления автоматических выключателей выбирается исходя из характера нагрузки. Для защиты линий с электродвигателями применяется характеристика типа D – с повышенным током срабатывания электромагнитного расцепителя (10–20-кратный от номинального тока), что позволяет пропускать пусковые токи без ложных

срабатываний. Для защиты осветительных линий, где пусковые токи незначительны, применяется характеристика типа С – с током срабатывания электромагнитного расцепителя 5–10-кратным от номинального. Тепловой расцепитель в обоих случаях обеспечивает защиту от длительной перегрузки с обратной зависимостью от тока выдержкой времени.

Автоматические выключатели отходящих линий ЩС выбраны по номинальным токам соответствующих потребителей. Для линии питания мостового крана с тельфером принят автомат с характеристикой D и номинальным током, соответствующим расчетному току электродвигателя механизма подъема с учетом режима работы крана. Для линий питания тепловентиляторов OBEX и вентиляционных установок Korf также применены автоматы с характеристикой D, поскольку эти потребители имеют электродвигательную нагрузку с характерными пусковыми токами. Для линии питания воздушно-тепловых завес – аналогично. Для линии питания ЩРО применен автомат с характеристикой C, так как осветительная нагрузка на светодиодных светильниках не создает значительных пусковых токов.

Все автоматические выключатели в ЩС оснащены вспомогательными контактами для организации дистанционной сигнализации о состоянии защитных аппаратов – открытое или закрытое положение контакта фиксируется в системе управления и мониторинга объекта. Для линий, питающих вентиляционные установки и противопожарные клапаны, предусмотрена возможность дистанционного отключения с помощью кнопок управления, расположенных у входа на склад. Это требование СП 7.13130.2020 в части управления системами противодымной вентиляции при пожаре.

Шинная система ЩС выполнена на медных шинах, обеспечивающих надежный контакт и минимальное переходное сопротивление в точках подключения. Нулевая шина N и защитная шина PE выполнены отдельно – в полном соответствии с требованиями системы заземления TN-C-S. К

защитной шине РЕ подключены все защитные проводники РЕ отходящих кабелей, металлический корпус щита и заземляющий проводник, подключенный к главной заземляющей шине ГЗШ помещения. Соединение РЕ-шины щита с ГЗШ выполняется отдельным проводником сечением не менее сечения фазного проводника питающей линии – это требование прямо указано в пункте 1.7.119 ПУЭ.

Щит ЩС устанавливается на стене помещения у входа на склад – в зоне, доступной для обслуживающего персонала, но при этом защищенной от случайных механических воздействий при проведении погрузочно-разгрузочных работ. Высота установки нижнего края щита над уровнем пола – не менее 0,8 м, верхнего края – не более 1,8 м, что соответствует эргономическим требованиям к обслуживанию электрооборудования без использования лестниц и стремянок. Перед щитом по всей ширине фронта обслуживания уложен диэлектрический ковер – обязательный элемент защиты персонала при работе с электрооборудованием напряжением до 1000 В в помещениях с повышенной влажностью и пожароопасностью. выбранный комплект – щит ЩМП-50.40.25 IP66 в сочетании с автоматическими выключателями серии ВА47-100 – является технически обоснованным и нормативно подтвержденным решением для данных условий эксплуатации.

2.2.3 Щит ПЭСПЗ с АВР для электроприемников 1-й категории

Щит противопожарного электроснабжения систем пожарной защиты – ПЭСПЗ – стоит особняком в системе электроснабжения склада ЛВЖ. Если ЩС отвечает за питание технологического оборудования и вентиляции, то ПЭСПЗ отвечает за нечто принципиально иное – за работоспособность всего противопожарного контура объекта в любых условиях, включая аварийные. Именно от этого щита в случае пожара продолжают работать пожарная сигнализация, система оповещения об эвакуации, установка автоматического пожаротушения, противопожарные клапаны и аварийное освещение. Перерыв питания этих систем в критический момент недопустим – и поэтому

ПЭСПЗ оснащается устройством автоматического включения резерва, которое без участия персонала переключает питание с неисправного ввода на исправный за время, не превышающее 1–2 секунды.

Необходимость оснащения электроприемников первой категории надежности устройством АВР закреплена в нескольких нормативных документах одновременно. ПУЭ, глава 1.2, пункт 1.2.17 устанавливает, что для электроприемников первой категории перерыв электроснабжения при нарушении питания от одного из источников допускается лишь на время автоматического восстановления питания. СП 484.1311500.2020 «Системы пожарной сигнализации и автоматизация систем противопожарной защиты» конкретизирует это требование применительно к системам противопожарной защиты: электроснабжение СПЗ должно осуществляться от двух независимых источников с автоматическим переключением. СП 6.13130.2021 «Электрооборудование и электроустановки пожаровзрывоопасных и взрывоопасных объектов» устанавливает дополнительные требования к исполнению вводно-распределительных устройств для систем противопожарной защиты на объектах с повышенной пожарной опасностью. Совокупность этих требований однозначно определяет техническое решение: отдельный щит ПЭСПЗ с двусторонним АВР.

Принципиальная схема ПЭСПЗ построена на базе двух независимых вводов и блока АВР между ними. Рабочий ввод подключается к первой секции шин ВРУ1 цеха – той же, от которой питается и ЩС. Резервный ввод подключается ко второй секции шин ВРУ1, питаемой от ТП-33. Оба ввода защищены автоматическими выключателями с одинаковыми номинальными характеристиками – это важно для корректной работы АВР: автоматы обоих вводов должны иметь согласованные токовременные характеристики, чтобы исключить ситуацию, при которой аппарат резервного ввода отключается быстрее, чем аппарат рабочего.

Блок АВР реализован на базе двух контакторов с электрической блокировкой, исключающей их одновременное включение. Логика работы

схемы следующая. В нормальном режиме включен контактор рабочего ввода, контактор резервного ввода разомкнут. Реле контроля напряжения непрерывно отслеживает уровень напряжения на рабочем вводе. При снижении напряжения ниже уставки срабатывания – обычно 0,7–0,8 от номинального – или при полном исчезновении напряжения реле контроля формирует команду на переключение. Контактор рабочего ввода отключается, после выдержки времени, необходимой для полного гашения дуги и деионизации промежутка, включается контактор резервного ввода. Суммарное время этой операции – от момента исчезновения напряжения до момента восстановления питания на шинах ПЭСПЗ – составляет не более 1–2 секунд, что укладывается в нормируемый предел.

Выдержка времени перед включением резервного контактора – намеренный элемент схемы, а не конструктивный недостаток. Ее назначение – предотвратить включение резервного ввода при кратковременных просадках напряжения, которые могут возникать при пусках мощных электродвигателей в соседних цепях. Без этой выдержки схема АВР реагировала бы на каждый пуск крана или вентилятора переключением с рабочего ввода на резервный и обратно, что многократно увеличивало бы износ контакторов и создавало нежелательные переходные процессы в цепях питания систем противопожарной защиты. Оптимальная выдержка времени подбирается при наладке в диапазоне 0,5–1,0 секунды – достаточной для отфильтровывания кратковременных просадок, но не выводящей суммарное время переключения за нормируемые 1–2 секунды.

Обратное переключение – с резервного ввода на рабочий после восстановления напряжения на рабочем вводе – может выполняться как автоматически, так и вручную. В данном проекте принято ручное обратное переключение: после устранения аварии на рабочем вводе персонал убеждается в стабильности восстановленного питания и вручную переводит ПЭСПЗ на рабочий ввод. Это объясняется соображениями надежности: автоматическое обратное переключение в момент восстановления рабочего

ввода создает еще один кратковременный перерыв в питании систем СПЗ – пусть и секунднй, но нежелательный. При ручном обратном переключении этого перерыва нет: персонал переключает питание только при стабильном напряжении на рабочем вводе.

Кабельные линии от ПЭСПЗ до электроприемников первой категории выполнены кабелем марки ВБШвнг(А)-FRLS – огнестойким, с пониженным дымо- и газовыделением, в броне из стальных лент. Буквы FRLS в маркировке означают Fire Resistant Low Smoke – огнестойкий с малым дымовыделением. Принципиальное отличие кабелей FRLS от обычных кабелей нг-LS состоит в том, что они сохраняют работоспособность при непосредственном воздействии открытого пламени в течение нормируемого времени – обычно не менее 90 минут при температуре горения 750–800°С. Это свойство критически важно для систем противопожарной защиты: именно в условиях развившегося пожара, когда кабели могут оказаться в зоне высоких температур, системы СПЗ должны продолжать работу. Прокладка кабелей FRLS выполняется в отдельных каналах и коробах, изолированных от кабелей других систем, что предусмотрено требованиями СП 484.1311500.2020.

От ПЭСПЗ запитаны следующие группы потребителей: щит аварийного освещения ЩАО, цепи управления и питания противопожарных клапанов вентиляционных систем ОКЛ 2, приемно-контрольный прибор пожарной сигнализации, блок управления установкой автоматического пожаротушения, система оповещения и управления эвакуацией СОУЭ, а также электродвигатели вентиляторов дымоудаления ВДЕ1 и ВДЕ2. Для каждой из этих групп предусмотрен отдельный автоматический выключатель в составе ПЭСПЗ, что обеспечивает независимость защиты каждого потребителя и возможность отключения отдельных цепей для технического обслуживания без нарушения работы остальных систем СПЗ.

Щит ПЭСПЗ выполнен в металлическом корпусе со степенью защиты не ниже IP54, что соответствует требованиям СП 484.1311500.2020 к

оборудованию систем противопожарной защиты, размещаемому в производственных помещениях. Корпус щита окрашен в красный цвет или имеет красную маркировку – стандартное требование к оборудованию систем противопожарной защиты, позволяющее персоналу мгновенно идентифицировать его назначение в случае аварийной ситуации. На лицевой панели щита размещены сигнальные лампы, индицирующие текущий режим работы АВР: «Рабочий ввод включен», «Резервный ввод включен», «Авария рабочего ввода». Эта индикация позволяет дежурному персоналу без вскрытия щита оценить текущее состояние системы резервирования и своевременно принять меры по восстановлению нормального режима электроснабжения. В целом щит ПЭСПЗ с двусторонним АВР является законченное техническое решение, обеспечивающее электроприемники первой категории надежности непрерывным питанием в любых эксплуатационных и аварийных условиях – именно то, чего требуют нормативные документы от системы электроснабжения объекта с повышенной взрывопожарной опасностью.

2.3 Система внутреннего электроосвещения

2.3.1 Расчет освещенности помещения склада

Проектирование освещения производственного помещения – строгая инженерная задача с нормируемыми параметрами: уровень освещённости, равномерность светового поля, коэффициент пульсации, показатель ослеплённости. Для склада ЛВЖ задача дополнительно осложняется взрывоопасностью зоны: обычные светильники здесь неприменимы, а выбор взрывозащищённого оборудования существенно сужает номенклатуру. В итоге расчёт освещения превращается в поиск баланса между нормативными требованиями к световой среде и жёсткими ограничениями по исполнению электрооборудования в зоне класса В-1а.

Нормируемые параметры освещения. Нормативная основа – СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение» с изменением №2

(2022 г.). Разряд зрительной работы для склада с хранением и перемещением грузов краном – VI («грубая» работа, объект различения свыше 5 мм). Нормируемая освещённость – $E_n = 200$ лк на уровне рабочей поверхности (0,8 м от пола). Коэффициент пульсации светового потока – не более 20%, показатель ослеплённости – не более 40 единиц.

Для аварийного освещения применяется СП 439.1325800.2020: освещённость на путях эвакуации – не менее 1 лк по оси прохода, в зонах размещения огнетушителей и ручных пожарных извещателей – не менее 5 лк. Светильники аварийного освещения включаются автоматически при исчезновении напряжения в сети рабочего освещения и обеспечивают нормируемую освещённость не менее 1 часа.

Расчёт числа светильников методом коэффициента использования светового потока.

Исходные данные:

- Площадь помещения: $S = 701,2 \text{ м}^2$
- Размеры в плане: $a = 36,5 \text{ м}$; $b = 18 \text{ м}$ (по рабочей документации ЭП, 019-2023-ЭП)
- Высота до низа несущих конструкций: $H_n = 10,99 \text{ м}$
- Высота рабочей поверхности: $h_p = 0,8 \text{ м}$
- Расчётная высота подвеса светильников: $h = H_n - h_p = 10,99 - 0,8 = 10,19 \text{ м}$

Принято расстояние от светильника до перекрытия (свес): $h_c = 0,8 \text{ м}$

Расчётная высота: $h = 10,99 - 0,8 - 0,8 = 9,39 \text{ м} \approx 9,4 \text{ м}$

Индекс помещения:

$$i = a \cdot b / [h \cdot (a + b)] = 36,5 \cdot 18 / [9,4 \cdot (36,5 + 18)] = 657 / [9,4 \cdot 54,5] = 657 / 512,3 = 1,28$$

Коэффициенты отражения для производственного помещения со стенами из сэндвич-панелей RAL 9006 (светло-серый):

- потолок: $\rho_p = 50\%$
- стены: $\rho_c = 30\%$

– пол: $\rho_p = 10\%$

При индексе помещения $i = 1,28$ и принятых коэффициентах отражения коэффициент использования светового потока по таблицам СП 52: $\eta = 0,57$.

Коэффициент запаса для производственных помещений с выделением паров и пыли: $K_z = 1,5$ (СП 52, таблица 6). Значение учитывает снижение светового потока светодиодных источников за срок службы (не более 30% за 50 000 ч) и загрязнение оптики.

Коэффициент неравномерности освещения: $Z = 1,15$ (для светодиодных светильников с широким углом рассеивания).

Световой поток одного светильника LAD LED R320-2-120GVS-230AC-50 Ех мощностью 120 Вт: $\Phi_{\text{л}} = 12\ 000$ лм (по техническим данным производителя).

Необходимое количество светильников:

$$N = E_{\text{н}} \cdot S \cdot K_z \cdot Z / (\Phi_{\text{л}} \cdot \eta) \quad (41)$$

$$N = 200 \cdot 701,2 \cdot 1,5 \cdot 1,15 / (12\ 000 \cdot 0,57) \quad (42)$$

$$N = 200 \cdot 701,2 \cdot 1,725 / 6840 \quad (43)$$

$$N = 242\ 214 / 6840 = 35,4 \quad (44)$$

Принято $N = 36$ светильников с округлением в большую сторону.

Проверка фактической освещённости:

$$E_{\text{ф}} = \Phi_{\text{л}} \cdot N \cdot \eta / (S \cdot K_z \cdot Z) \quad (45)$$

$$E_{\text{ф}} = 12\ 000 \cdot 36 \cdot 0,57 / (701,2 \cdot 1,5 \cdot 1,15) \quad (46)$$

$$E_{\text{ф}} = 246\ 240 / 1210,6 = 203,4 \text{ лк} \quad (47)$$

Отклонение от нормируемого значения:

$$\delta E = (E_{\text{ф}} - E_{\text{н}}) / E_{\text{н}} \cdot 100\% \quad (48)$$

$$\delta E = (203,4 - 200) / 200 \cdot 100\% = +1,7\% \quad (49)$$

Фактическая освещённость 203,4 лк превышает нормируемую 200 лк на 1,7% – условие СП 52 о допустимом отклонении не более –10% выполнено .

Расстановка светильников принята рядная: 6 рядов по длине пролёта (36,5 м), 6 светильников в ряду (итого 36 шт.). Шаг между светильниками в ряду: $l_p = 36,5 / 6 = 6,1$ м. Расстояние между рядами: $l_c = 18 / 6 = 3,0$ м. Соотношение расстояния между рядами к расчётной высоте: $l_c / h = 3,0 / 9,4 = 0,32$ – выдерживается условие равномерности освещения по СП 52 ($l_c / h \leq 0,5$ для данного типа светильников) .

Выбор типа светильников. Для взрывоопасной зоны класса В-1а с группой взрывоопасной смеси ПВ (пары ацетона и органических растворителей) требования ПУЭ глава 7.3 и ГОСТ Р МЭК 60079 предписывают применение оборудования с маркировкой взрывозащиты не ниже ПВ. В проекте для основного пролёта склада приняты два исполнения светильников: LAD LED R320-2-120GVS-230AC-50 Ex (угол рассеивания 50°, световой поток 12 000 лм, мощность 120 Вт) для общего освещения пролёта и LAD LED R320-1-120GVS-230AC-30 Ex (угол рассеивания 30°, мощность 120 Вт) для зоны работы мостового крана, где требуется более концентрированный световой поток. Маркировка взрывозащиты обоих исполнений – 1ExdПВТ4: вид защиты «d» (взрывонепроницаемая оболочка), группа ПВ, температурный класс Т4 (максимальная температура поверхности не более 135°C). Степень защиты оболочки – IP66. Диапазон рабочих температур: от –60°C до +50°C, что обеспечивает работоспособность светильников в неотапливаемый период при отказе системы отопления.

Для вспомогательных помещений (тамбур, техническое помещение) приняты светильники NL VEGA6-S-67 IP67 мощностью 60 Вт – без взрывозащиты, но с повышенной степенью защиты от влаги и пыли, поскольку эти помещения не относятся к взрывоопасной зоне. Суммарная установленная мощность осветительной сети: рабочее освещение основного пролёта: 16 светильников $LAD LED R320 Ex \times 120 \text{ Вт} = 1920 \text{ Вт} (1,92 \text{ кВт})$;

освещение вспомогательных помещений: 4 светильника NL VEGA6 × 60 Вт = 240 Вт (0,24 кВт); аварийное освещение: 6 светильников LAD LED R320 Ex × 120 Вт = 720 Вт (0,72 кВт). Итого суммарная установленная мощность осветительной сети: $1,92 + 0,24 + 0,72 = 2,88$ кВт. Данное значение соответствует основным показателям проекта раздела ЭО (019-2023-ЭО).

2.3.2 Взрывозащищенные светильники LAD LED R320 Ex

Выбор конкретной модели светильника для взрывоопасного помещения – это задача, в которой технические характеристики оборудования, требования нормативных документов и конструктивные особенности помещения должны сойтись в одной точке. Подобрать светильник, который одновременно обеспечивает нормируемую освещенность, соответствует классу взрывозащиты для зоны В-1а с группой смеси IIВ, допускает подвесную установку на трос в помещении высотой почти 11 метров и при этом имеет разумную потребляемую мощность – задача не тривиальная. Серия LAD LED R320 Ex в данном случае оказывается решением, которое закрывает все перечисленные требования одновременно, что и предопределило ее выбор в составе проектной документации.

Светильники серии LAD LED R320 Ex производятся компанией «Свет» (Россия) и относятся к классу промышленных взрывозащищенных светильников для стационарной установки. Аббревиатура в обозначении расшифровывается следующим образом: LAD – торговая марка производителя, LED – светодиодный источник света, R320 – типоразмер корпуса, Ex – взрывозащищенное исполнение. Корпус светильника выполнен из высокопрочного поликарбоната или алюминиевого сплава в зависимости от конкретного исполнения, что обеспечивает его механическую прочность при случайных ударах и устойчивость к воздействию агрессивных химических сред – паров растворителей и ацетона, неизбежно присутствующих в воздухе склада ЛВЖ.

Маркировка взрывозащиты светильников LAD LED R320 Ex – 1ExdIIBT4 – расшифровывается следующим образом. Цифра «1» означает первый уровень взрывозащиты по российской классификации, что соответствует применению в зонах класса В-1а. Буква «d» означает вид взрывозащиты «взрывонепроницаемая оболочка» – наиболее надежный и распространенный вид защиты для светильников в промышленных взрывоопасных зонах: оболочка светильника выдерживает давление взрыва внутри корпуса и не допускает передачи вспышки в окружающую среду. Группа взрывоопасной смеси IIВ охватывает смеси с воздухом горючих газов и паров, к которым относятся в том числе ацетон и большинство органических растворителей. Температурный класс Т4 означает, что максимальная температура наружных поверхностей светильника при любых условиях работы не превышает 135°С – значение, при котором не происходит воспламенения взрывоопасных смесей большинства ЛВЖ. Степень защиты оболочки IP66 гарантирует полную защиту от пыли и от сильных водяных струй, что обеспечивает долговечность светильника в условиях влажной уборки помещения с применением моечного оборудования.

В проекте применяются два исполнения светильников серии R320 Ex, различающихся мощностью и световым потоком. Первое исполнение – LAD LED R320-2-120GVS-230AC-50 Ex – светильник мощностью 120 Вт со световым потоком 12 000 лм. Суффикс «50» в обозначении указывает на угол рассеивания светового пучка 50°, что соответствует широкому распределению освещенности по рабочей поверхности – оптимальный вариант для больших открытых пространств складского пролета. Второе исполнение – LAD LED R320-1-120GVS-230AC-30 Ex – светильник той же мощности 120 Вт, но с углом рассеивания 30°. Узкий угол рассеивания обеспечивает более концентрированный световой поток, что целесообразно для зон с высокими требованиями к освещенности на конкретных рабочих

площадках – например, в зоне работы мостового крана, где оператору необходима четкая видимость деталей строповки.

Световая отдача светодиодных источников в составе светильников серии R320 Ex составляет не менее 100 лм/Вт, что является высоким показателем для взрывозащищенного оборудования. Для сравнения: традиционные взрывозащищенные светильники с натриевыми лампами высокого давления имеют световую отдачу порядка 70–80 лм/Вт, а с металлогалогенными лампами – 80–90 лм/Вт. Переход на светодиодные источники в взрывозащищенном исполнении дает экономию электроэнергии на освещение порядка 20–30% по сравнению с традиционными технологиями при сопоставимой освещенности. Помимо энергоэффективности, светодиодные источники обеспечивают стабильный световой поток на протяжении всего срока службы – деградация светового потока за 50 000 часов работы не превышает 30%, что заложено в коэффициент запаса при расчете освещенности.

Важной эксплуатационной характеристикой является диапазон рабочих температур светильников LAD LED R320 Ex: от минус 60°C до плюс 50°C. Нижняя граница диапазона принципиально важна для данного объекта: в неотапливаемый период или при аварии системы отопления температура в складском помещении может опускаться значительно ниже нуля, и светильники должны сохранять работоспособность и обеспечивать нормируемую освещенность даже в этих условиях. Светодиодные источники в отличие от газоразрядных ламп не требуют разогрева для выхода на номинальный световой поток и мгновенно обеспечивают полный световой поток при включении даже при отрицательных температурах – это особенно важно для аварийного освещения, которое должно включаться мгновенно при обесточивании рабочего освещения.

Схема расстановки светильников в основном пролете склада принята рядной с тросовой подвеской. Тросовая подвеска – наиболее целесообразный способ монтажа светильников в помещениях с большой высотой и

пролетными металлоконструкциями: трос натягивается между несущими фермами или колоннами параллельно продольной оси помещения, светильники крепятся к тросу через специальные крепежные элементы с регулировкой угла наклона. Такое решение обеспечивает механическую устойчивость светильников при колебаниях конструкций от движения мостового крана, исключает провисание питающих проводов и допускает оперативную регулировку положения светильников по высоте и углу наклона при необходимости изменения светового распределения.

Ряды светильников располагаются параллельно продольной оси склада с шагом, определенным расчетом по методу коэффициента использования световых потоков. При высоте подвеса светильников около 9,0–9,5 м над рабочей поверхностью и ширине пролета 18 м рациональный шаг между рядами составляет порядка 6–8 м, шаг между светильниками в ряду – 4–6 м. Такое размещение обеспечивает равномерность освещенности, соответствующую нормативным требованиям: отношение минимальной освещенности к средней не должно быть ниже 0,7 для производственных помещений данного типа. В зонах, требующих повышенной освещенности – площадки обслуживания оборудования, зона управления краном – предусмотрена установка дополнительных светильников с уменьшенным шагом или с узким углом рассеивания 30°.

Питание светильников рабочего освещения выполняется кабелем марки ВБШвнг(А)-LS, прокладываемым по тросу совместно со светильниками или в отдельном кабельном коробе вдоль несущих конструкций. Подключение светильников к питающей линии выполняется через взрывозащищенные ответвительные коробки серии КЗВ, установленные непосредственно на тросе. Применение взрывозащищенных коробок исключает возможность образования открытых контактных соединений в объеме взрывоопасной зоны – все соединения проводников выполняются внутри взрывонепроницаемых оболочек с надежной герметизацией вводных устройств. Управление рабочим освещением

предусмотрено от выключателей, установленных у входа в склад в специальных взрывозащищенных коробках управления – это исключает необходимость входа персонала в помещение для включения и выключения освещения при наличии в воздухе паров ЛВЖ. принятая схема расстановки светильников LAD LED R320 Ex на тросовой подвеске является законченное техническое решение, обеспечивающее нормируемую освещенность во всех рабочих зонах склада при полном соответствии требованиям взрывозащиты и пожарной безопасности.

2.3.3 Щиты рабочего (ЩРО) и аварийного (ЩАО) освещения

Разделение осветительной сети склада на два самостоятельных щита – рабочего и аварийного освещения – не произвольна или попыткой усложнить схему без необходимости. Это прямое требование нормативных документов, продиктованное логикой обеспечения безопасности на объекте с повышенной взрывопожарной опасностью. Рабочее освещение и аварийное освещение выполняют принципиально разные функции: первое обеспечивает нормальные условия труда в штатном режиме работы склада, второе – минимально необходимую видимость для безопасной эвакуации людей и проведения первичных противопожарных мероприятий при возникновении нештатной ситуации. Поэтому эти две системы должны иметь независимые источники питания, отдельные кабельные линии и отдельные распределительные щиты – чтобы авария в одной системе никак не влияла на работоспособность другой.

Щит рабочего освещения ЩРО является распределительным устройством второго уровня в иерархии схемы электроснабжения склада: он получает питание от ЩС и в свою очередь распределяет его по групповым осветительным линиям. Вводной автоматический выключатель ЩРО подключается к соответствующей отходящей линии ЩС через кабель марки ВБШвнг(А)-LS сечением, выбранным по расчетному току осветительной нагрузки. Расчетная мощность рабочего освещения составляет порядка 4,5–5,0 кВт, что при напряжении 220/380 В и коэффициенте мощности

светодиодных светильников близким к единице соответствует расчетному току порядка 7–8 А на фазу. Выбранное сечение питающего кабеля ЩС–ЩРО с запасом по нагреву обеспечивает возможность подключения дополнительных осветительных групп при расширении состава оборудования склада в перспективе.

Корпус ЩРО выполнен в металлическом исполнении со степенью защиты IP66 – аналогично ЩС, из-за размещением щита в помещении взрывоопасной зоны класса В-1а. Внутри корпуса на DIN-рейках смонтированы вводной автоматический выключатель и автоматические выключатели групповых осветительных линий. Групповые линии разбиты таким образом, чтобы каждая из них питала примерно равное количество светильников и нагрузка по фазам была распределена равномерно. Равномерная загрузка фаз – важное условие нормальной работы трехфазной сети: перекос нагрузки между фазами приводит к появлению тока в нулевом проводнике, дополнительным потерям и отклонению напряжения от номинального на отдельных фазах. Для осветительных сетей, где нагрузка однофазная (светильники подключаются между фазой и нулем), равномерное распределение по фазам достигается соответствующей разбивкой на группы при проектировании.

Однолинейная схема ЩРО включает вводной трехполюсный автоматический выключатель и несколько однополюсных автоматов групповых линий, каждый из которых защищает свою группу светильников. Количество групп определяется расчетом исходя из допустимой нагрузки на одну групповую линию и требований по надежности: при аварийном отключении одной группы остальные группы должны продолжать работу, обеспечивая хотя бы частичную освещенность в зоне отказавшей группы. Для основного пролета склада, где установлены взрывозащищенные светильники LAD LED R320 Ex, предусмотрено не менее трех групповых линий рабочего освещения. Такое разбиение обеспечивает, что при отключении любой одной группы оставшиеся две продолжают работу и

суммарная освещенность в пролете остается на уровне, достаточном для безопасного завершения текущей технологической операции и подготовки к эвакуации при необходимости.

Кабельная разводка групповых линий рабочего освещения выполнена кабелем марки ВВШвнг(А)-LS. Эта марка выбрана из следующих соображений: исполнение «нг» – не распространяющий горение – исключает распространение пожара по кабельной трассе при воздействии открытого пламени; исполнение «LS» – пониженное дымовыделение – снижает концентрацию токсичных продуктов горения в помещении, что критически важно при эвакуации; броня из стальных лент «Б» обеспечивает механическую защиту кабеля при прокладке по конструкциям склада и защиту от случайных механических воздействий при проведении погрузочно-разгрузочных работ. Сечение жил групповых кабелей принято $2,5 \text{ мм}^2$ – стандартное для осветительных групповых линий, обеспечивающее допустимый нагрев при токах осветительных групп и достаточную механическую прочность при монтаже.

Щит аварийного освещения ЩАО по своей архитектуре принципиально отличается от ЩРО. Главное отличие – источник питания: ЩАО получает питание не от ЩС, а от щита ПЭСПЗ, что переводит его в разряд электроприемников первой категории надежности с автоматическим резервированием. Питающий кабель от ПЭСПЗ до ЩАО прокладывается по отдельной трассе, изолированной от трасс кабелей рабочего освещения и силовых кабелей. Это требование СП 439.1325800.2020 и СП 484.1311500.2020: кабельные линии аварийного освещения должны быть конструктивно отделены от линий рабочего освещения, чтобы одно повреждающее воздействие – перегрев, механическое повреждение, воздействие пламени – не могло одновременно вывести из строя обе системы.

Корпус ЩАО, как и ЩРО, выполнен в исполнении IP66. Схема ЩАО включает вводной автоматический выключатель и групповые автоматы линий аварийного освещения. Светильники аварийного освещения

размещаются по маршрутам эвакуации: у каждого эвакуационного выхода, в местах изменения направления пути эвакуации, в зонах размещения первичных средств пожаротушения – огнетушителей и пожарных кранов, – а также у мест расположения ручных пожарных извещателей и кнопок управления системами противопожарной защиты. Светильники аварийного освещения в основном пролете склада выбраны из той же серии LAD LED R320 Ex, что и светильники рабочего освещения, – это унифицирует номенклатуру применяемого оборудования и упрощает техническое обслуживание. Часть светильников аварийного освещения выполняется с функцией автономной работы от встроенного аккумулятора – это обеспечивает их работоспособность в течение не менее одного часа даже при полном обесточивании обоих вводов в здание.

Кабельная разводка групповых линий аварийного освещения выполнена кабелем марки ВБШвнг(А)-FRLS – принципиально иной маркой по сравнению с кабелями рабочего освещения. Суффикс FRLS означает Fire Resistant Low Smoke: такой кабель сохраняет работоспособность при непосредственном воздействии пламени в течение не менее 90 минут при температуре горения 750–800°C. Применение огнестойкого кабеля FRLS для линий аварийного освещения – обязательное требование СП 439.1325800.2020 и ГОСТ Р 31565-2012: именно в условиях развившегося пожара, когда температура в помещении значительно превышает нормальные значения, аварийное освещение должно продолжать работу, обеспечивая эвакуацию персонала. Кабель ВБШвнг(А)-LS, примененный для рабочего освещения, таким свойством не обладает и при длительном воздействии пламени утрачивает работоспособность – поэтому для аварийного освещения применяется принципиально другой тип кабеля.

Места прохода кабелей через строительные конструкции – стены, перекрытия, перегородки – уплотняются негорючими материалами: минеральной ватой, специальными огнезащитными манжетами или мастиками на основе вспучивающихся составов. Это требование ПУЭ и СП

76.13330.2016 в части предотвращения распространения пожара через кабельные проходки. Для кабелей аварийного освещения марки FRLS требования к уплотнению проходок особенно строги: предел огнестойкости проходки должен соответствовать пределу огнестойкости пересекаемой конструкции. совокупность решений по щитам ЩРО и ЩАО, выбору марок кабелей и схеме их прокладки образует полноценную двухуровневую систему освещения склада ЛВЖ – с четким разграничением рабочего и аварийного контуров, независимыми источниками питания и огнестойкими кабельными линиями там, где это требуется по условиям безопасности.

3. ОХРАНА ТРУДА И ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ

3.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов на объекте проектирования

Любой производственный объект, связанный с эксплуатацией электроустановок и хранением горючих веществ, является источником целого комплекса опасных и вредных производственных факторов. Склад ЛВЖ и ГЖ ООО «Лысьваннефтемаш» в этом отношении – объект повышенной сложности: здесь одновременно присутствуют риски, характерные как для электроустановок промышленных предприятий, так и для объектов хранения легковоспламеняющихся веществ. Анализ этих факторов – не формальное требование охраны труда, а реальный инструмент предотвращения несчастных случаев и аварий. Именно на основе такого анализа выбираются средства защиты, разрабатываются инструкции для персонала и формируются требования к техническому обслуживанию инженерных систем объекта.

Классификация опасных и вредных производственных факторов выполняется в соответствии с ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация». Согласно этому стандарту, все факторы подразделяются на четыре группы: физические, химические, биологические и психофизиологические. Применительно к проектируемому складу ЛВЖ биологические факторы несут незначительную опасность и в дальнейшем не рассматриваются. Определяющую роль играют физические и химические факторы, тогда как психофизиологические факторы актуальны при проведении погрузочно-разгрузочных работ и технического обслуживания электрооборудования.

Наиболее серьезным физическим фактором на данном объекте является опасность поражения электрическим током. Электроустановки склада функционируют при напряжении 220/380 В, что относится к категории опасных напряжений: ток через тело человека при таком напряжении и сопротивлении тела порядка 1000 Ом составит 220–380 мА, что многократно

превышает смертельно опасный порог в 100 мА. При этом специфика взрывоопасного помещения существенно увеличивает риск поражения током по сравнению с обычными производственными условиями: повышенная влажность воздуха снижает сопротивление тела человека, влага на поверхностях снижает электрическое сопротивление пола и стен, что повышает вероятность образования токоопасного контура через тело человека при случайном прикосновении к токоведущим частям или при утечке тока на корпус неисправного оборудования.

Источниками повышенной электрической опасности на данном объекте являются: вводной распределительный щит ЩС и щит ПЭСПЗ с их токоведущими шинами и клеммными колодками, питающие кабельные линии на участках ввода и распределения, пускозащитная аппаратура электродвигателей вентиляционных установок и мостового крана, а также кабельные проводки групповых линий в зонах возможного механического повреждения при погрузочно-разгрузочных операциях. Отдельный источник риска – мостовой электрический кран: его металлоконструкции находятся под напряжением питания электродвигателя и тельфера, а сам кран перемещается по всему пролету склада, создавая условия для случайного контакта персонала с токоведущими частями ходовых механизмов.

Вторым по значимости физическим фактором является опасность взрыва и пожара. Пары ацетона и органических растворителей, неизбежно присутствующие в воздухе помещения при хранении ЛВЖ в металлических бочках (даже герметично закрытых – вследствие микроутечек через уплотнения пробок), образуют с воздухом взрывоопасные смеси в диапазоне концентраций от нижнего до верхнего концентрационного предела воспламенения. Ацетон имеет НКПВ около 2,5% об., растворители органического происхождения – в диапазоне 1–3% об. При таких концентрациях достаточно единственной искры с энергией порядка долей миллиджоуля для инициирования взрыва. Потенциальными источниками искрообразования на данном объекте являются: электрические дуги при

коммутации аппаратов управления, искры при замыкании токоведущих частей, разряды статического электричества при перемещении бочек краном и при переливе ЛВЖ, а также разряды атмосферного электричества при прямом ударе молнии или при ее воздействии через индукцию.

Третий физический фактор – повышенный уровень шума от работающего вентиляционного оборудования. Приточные и вытяжные установки на базе оборудования Korf, тепловентиляторы OBEX и воздушно-тепловые завесы «Веза» в совокупности создают в помещении склада шумовую нагрузку, способную при длительном воздействии превышать нормируемые значения по ГОСТ 12.1.003-2014. Нормируемый уровень звука на постоянных рабочих местах в производственных помещениях составляет 80 дБА; при кратковременном пребывании персонала в помещении во время погрузочно-разгрузочных операций этот предел может быть превышен при одновременной работе нескольких вентиляционных агрегатов на максимальной производительности. Снижение шумовой нагрузки обеспечивается применением виброизолирующих оснований под вентиляционными агрегатами, гибких вставок в воздуховодах и шумоглушителей на приточных и вытяжных каналах.

Четвертый физический фактор – опасность механического травмирования при работе мостового крана. Зона работы крана охватывает весь пролет склада; перемещение груза (бочек с ЛВЖ массой до 200 кг каждая) на высоте создает риск падения груза при обрыве стропов или отказе тельфера. Падение бочки с ЛВЖ с высоты нескольких метров неизбежно сопровождается ее разгерметизацией и разливом горючей жидкости – что при наличии потенциальных источников воспламенения в помещении создает риск пожара или взрыва. Для минимизации этого риска стропы и крюковая подвеска тельфера подлежат периодическому техническому освидетельствованию в соответствии с требованиями Ростехнадзора, а в зоне работы крана устанавливаются ограждения и предупреждающие знаки безопасности.

Химические факторы на данном объекте определяются токсическими свойствами хранимых веществ. Пары ацетона при концентрации свыше 200 мг/м³ (ПДК для рабочей зоны по ГОСТ 12.1.005-88) оказывают раздражающее воздействие на слизистые оболочки дыхательных путей и глаз, при более высоких концентрациях вызывают головокружение, тошноту и нарушение координации движений. Пары органических растворителей в зависимости от их химической природы обладают наркотическим, раздражающим или общетоксическим действием. При аварийном разливе ЛВЖ концентрация паров в воздухе помещения может многократно превысить ПДК уже через несколько минут, что создает угрозу острого отравления персонала, находящегося в помещении без средств защиты органов дыхания.

Для защиты от химических факторов проектом предусмотрена принудительная приточно-вытяжная вентиляция с нижней вытяжкой – поскольку пары большинства ЛВЖ тяжелее воздуха и скапливаются в нижней зоне помещения. Кратность воздухообмена принята из условия обеспечения концентрации паров в рабочей зоне не выше 0,1 НКПВ – требование СП 7.13130.2020 для взрывоопасных помещений. При аварийной остановке вентиляции предусмотрена автоматическая сигнализация и блокировка, препятствующая входу персонала в помещение до восстановления нормального воздухообмена. Персонал, работающий в помещении склада при плановом обслуживании оборудования, обеспечивается средствами индивидуальной защиты органов дыхания – фильтрующими противогазами или респираторами, соответствующими классу опасности хранимых веществ.

Психофизиологические факторы проявляются прежде всего при выполнении работ по техническому обслуживанию электрооборудования и при проведении погрузочно-разгрузочных операций. Работы в электроустановках выполняются по нарядам-допускам с соблюдением требований Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок

(Приказ Минтруда РФ №903н от 15.12.2020). Работа с электроустановками под напряжением до 1000 В выполняется не менее чем двумя лицами с группами допуска по электробезопасности не ниже II и III соответственно. Погрузочно-разгрузочные операции с тяжелыми бочками (масса до 200 кг) с использованием мостового крана выполняются стропальщиками, прошедшими специальное обучение и имеющими соответствующее удостоверение. Совокупность перечисленных факторов формирует полную картину производственных рисков на объекте и определяет необходимость применения комплексной системы технических и организационных мер защиты, реализованных в составе проектных решений данного диплома.

3.2 Организация защитного заземления и системы молниезащиты

Защитное заземление и молниезащита – две взаимосвязанные инженерные системы, решающие одну общую задачу: исключить возможность появления на металлических конструкциях здания и электрооборудования опасных потенциалов, способных стать источником поражения людей электрическим током или воспламенения взрывоопасной смеси. Для склада ЛВЖ эта задача приобретает особую остроту: даже незначительный искровой разряд между двумя металлическими элементами конструкции, находящимися под разными потенциалами, способен инициировать взрыв паровоздушной смеси ацетона или растворителя. Поэтому требования к заземлению и молниезащите взрывоопасных объектов существенно строже, чем для обычных производственных помещений, и поэтому эти системы рассматриваются в разделе охраны труда – как неотъемлемая часть комплекса мер по обеспечению безопасности персонала и объекта.

Нормативную основу проектирования систем заземления и молниезащиты составляют: ПУЭ издание седьмое (главы 1.7 и 7.3), ГОСТ Р МЭК 62561 «Компоненты систем молниезащиты», РД 34.21.122-87 «Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений», СО 153-34.21.122-2003 «Инструкция по устройству молниезащиты зданий,

сооружений и промышленных коммуникаций», а также ГОСТ 12.1.030-81 «Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление». Совокупность этих документов охватывает проектирования – от выбора системы заземления и расчета сопротивления заземлителя до конструктивных решений по молниеприемникам и токоотводам.

Система заземления проектируемого склада принята TN-C-S в соответствии с требованиями ПУЭ, глава 1.7. Суть этой системы состоит в следующем: от трансформаторной подстанции до вводного распределительного устройства здания прокладывается совмещенный PEN-проводник, выполняющий функции одновременно нулевого рабочего и защитного проводника. На вводе в здание – на главной заземляющей шине ГЗШ – PEN-проводник разделяется на два самостоятельных проводника: нулевой рабочий N и защитный РЕ. После точки разделения совместная прокладка N и РЕ проводников категорически запрещена. Такое разделение исключает появление на корпусах электрооборудования напряжения, обусловленного протеканием рабочего тока по нулевому проводнику, – явление, потенциально опасное в условиях взрывоопасной зоны.

Главная заземляющая шина ГЗШ является центральным узлом всей системы защитного заземления и уравнивания потенциалов. К ней присоединяются: РЕ-проводник питающей линии от ВРУ1 цеха, заземляющий проводник контурного заземлителя здания, металлические корпуса всех распределительных щитов (ЩС, ЩРО, ЩАО, ПЭСПЗ), нулевые защитные проводники всех отходящих кабелей. Сечение шины и присоединительных проводников определяется из условия термической стойкости при токах однофазного короткого замыкания на землю – шина должна выдержать этот ток без разрушения в течение времени срабатывания защитного аппарата.

Основная система уравнивания потенциалов охватывает все протяженные металлические элементы конструкции и инженерных коммуникаций, которые потенциально могут оказаться под опасным

напряжением при повреждении изоляции или при воздействии атмосферного электричества. К ГЗШ присоединяются: металлические трубопроводы систем отопления и водоснабжения на вводе в помещение склада, металлические воздухопроводы систем вентиляции и дымоудаления, кабельные лотки и короба на всем их протяжении, металлические строительные конструкции пристройки – колонны, связи, прогоны, а также подкрановый путь мостового крана. Уравнивание потенциалов кранового пути стоит отметить: рельсы кранового пути соединяются между собой и с ГЗШ стальным круглым проводником диаметром 10 мм из оцинкованной стали через болтовые зажимы на каждой секции рельса. Это исключает возможность появления разности потенциалов между ходовыми колесами крана и рельсами при случайном замыкании тока на корпус крана.

Дополнительная система уравнивания потенциалов предусмотрена для зон повышенного риска – непосредственно в зоне хранения ЛВЖ. Все металлические стеллажи и поддоны для хранения бочек соединяются с заземляющим проводником, проложенным по полу помещения. Это исключает накопление зарядов статического электричества на металлических поддонах при перемещении бочек краном – явление, особенно опасное при выгрузке ЛВЖ, когда контакт металлических поверхностей прерывается и возникает разность потенциалов, способная создать искровой разряд. Сопротивление заземления металлических элементов зоны хранения ЛВЖ не должно превышать 100 Ом согласно требованиям ГОСТ 12.1.030-81 для защиты от статического электричества.

Контурный заземлитель здания выполняется из оцинкованной стальной полосы сечением 40×5 мм, прокладываемой в грунте по периметру пристройки на глубине не менее 0,5 м от поверхности земли. Выбор именно такого сечения и материала обоснован несколькими соображениями. Оцинковка обеспечивает коррозионную стойкость заземлителя в грунтах Пермского края с их характерной влажностью – срок службы оцинкованного заземлителя в грунтах умеренной агрессивности составляет не менее 30 лет

без замены. Полоса сечением 40×5 мм имеет достаточную механическую прочность для укладки в грунт без деформации и обеспечивает требуемое сопротивление заземления при длине контура, соответствующей периметру пристройки $36,5 \times 18$ м. Соединение вертикальных заземляющих электродов с горизонтальной полосой выполняется сваркой с соблюдением требуемой длины сварного шва – не менее двойной ширины полосы для нахлесточных соединений.

Сопротивление заземляющего устройства нормируется ПУЭ, глава 1.7: для электроустановок напряжением до 1 кВ с глухозаземленной нейтралью (система TN) сопротивление заземляющего устройства не должно превышать 4 Ом при мощности трансформатора более 100 кВА. По результатам расчета контурного заземлителя из полосы 40×5 мм по периметру пристройки с дополнительными вертикальными электродами сопротивление заземляющего устройства составляет порядка 2,5–3,0 Ом – значение, обеспечивающее необходимый запас относительно нормируемого предела. Расчет выполнен с учетом удельного электрического сопротивления грунта в районе г. Лысьвы, принятого по данным инженерно-геологических изысканий.

Категория молниезащиты здания определяется по РД 34.21.122-87 исходя из назначения объекта, его класса пожарной и взрывопожарной опасности, а также интенсивности грозовой деятельности в районе строительства. Для помещений категории А по взрывопожарной опасности, расположенных в районах с числом грозовых часов в год более 10, устанавливается II категория молниезащиты – вторая по степени строгости требований после первой категории, применяемой для особо опасных объектов. Г. Лысьва относится к зоне с числом грозовых часов в год порядка 20–40, что подтверждает обоснованность II категории молниезащиты.

Молниеприемная сетка является основным элементом молниезащиты кровли пристройки. Сетка выполняется из арматурной стали диаметром 8 мм с ячейкой 6×6 м и укладывается непосредственно на кровлю пристройки. Выбор молниеприемной сетки в качестве молниеприемника обусловлен

конструктивными особенностями кровли: как отмечалось в характеристике здания, металл кровли имеет толщину менее 4 мм, что по требованиям СО 153-34.21.122-2003 исключает использование самой кровли в качестве молниеприемника. Узлы пересечения проводников сетки соединяются сваркой или болтовыми зажимами с электрическим сопротивлением не более 0,05 Ом. Ячейка 6×6 м для II категории молниезащиты соответствует нормативному требованию – для данной категории ячейка не должна превышать 6×6 м по СО 153-34.21.122-2003.

Токоотводы от молниеприемной сетки выполняются стальной оцинкованной полосой 40×5 мм, прокладываемой по стенам пристройки снаружи здания с шагом не более 25 м по периметру. По требованиям РД 34.21.122-87 для II категории молниезащиты количество токоотводов должно быть не менее двух, располагаться они должны с противоположных сторон здания. Для пристройки размером 36,5×18 м предусмотрено не менее четырех токоотводов – по одному на каждый угол здания, что превышает минимальное нормативное требование и обеспечивает надежное распределение тока молнии по нескольким параллельным путям к заземлителю. Токоотводы присоединяются к контурному заземлителю через болтовые разъемные зажимы, обеспечивающие возможность измерения сопротивления каждого токоотвода при техническом обслуживании без разрушения соединения.

Горизонтальные пояса из стальной оцинкованной полосы 40×5 мм предусмотрены на уровне отмостки и на высоте около 5 м по периметру здания. Их назначение – перехват шаровых молний и снижение напряженности электрического поля вблизи стен здания при ударе молнии, что снижает риск поверхностного перекрытия вдоль стены при недостаточном сечении токоотвода. Соединение токоотводов с горизонтальными поясами выполняется сваркой с последующей антикоррозионной обработкой сварного шва цинкосодержащей грунтовкой. система заземления TN-C-S с развернутой основной и дополнительной

системой уравнивания потенциалов в сочетании с молниезащитой II категории образует комплексную защиту объекта от электрических рисков – как внутреннего происхождения, связанных с работой электроустановок, так и внешнего, определяемого воздействием атмосферного электричества.

3.3 Экологическая безопасность проектируемого объекта

Вопросы экологической безопасности промышленных объектов в современном российском законодательстве занимают все более значимое место. Федеральный закон №7-ФЗ «Об охране окружающей среды» от 10.01.2002 года устанавливает общие принципы природоохранной деятельности, обязывая хозяйствующие субъекты минимизировать негативное воздействие на окружающую среду и обеспечивать экологическую безопасность своих объектов на всех стадиях их жизненного цикла – от проектирования до вывода из эксплуатации. Для склада ЛВЖ и ГЖ экологический аспект особенно актуален: хранимые вещества – ацетон, органические растворители и масло – при попадании в окружающую среду способны нанести значительный ущерб почвенному покрову, поверхностным и подземным водам, а продукты их горения при пожаре загрязняют атмосферный воздух токсичными соединениями.

Оценка воздействия на окружающую среду выполняется по четырем основным компонентам: атмосферный воздух, почва и грунтовые воды, поверхностные водные объекты, отходы производства и потребления. Каждый из этих компонентов подвергается воздействию различными путями – как в нормальном режиме эксплуатации объекта, так и в аварийных ситуациях. Системный подход к оценке этих воздействий позволяет заблаговременно предусмотреть технические и организационные меры, снижающие экологический риск до приемлемого уровня.

Воздействие на атмосферный воздух в нормальном режиме эксплуатации обусловлено выбросами паров ЛВЖ через систему вентиляции. Принудительная вытяжная вентиляция склада непрерывно удаляет из помещения воздух с содержанием паров ацетона и растворителей,

концентрация которых в удаляемом воздухе, обычно значительно ниже ПДК рабочей зоны. Тем не менее суммарный объем выброса паров ЛВЖ в атмосферу через вытяжные патрубки вентиляционных установок является источником загрязнения атмосферного воздуха, подлежащим нормированию. Согласно Федеральному закону №96-ФЗ «Об охране атмосферного воздуха» от 04.05.1999 года, предприятие обязано разработать нормативы предельно допустимых выбросов (ПДВ) для данного источника и получить соответствующее разрешение на выброс загрязняющих веществ. Концентрация паров ацетона в приземном слое атмосферы в расчетной точке на границе санитарно-защитной зоны не должна превышать $0,35 \text{ мг/м}^3$ – значение максимальной разовой ПДК для атмосферного воздуха населенных мест по ГН 2.1.6.3492-17.

Для снижения выбросов паров ЛВЖ в атмосферу предусматривается ряд технических мер. Хранение растворителя и ацетона осуществляется исключительно в герметично закрытых металлических бочках – открытое хранение ЛВЖ в таре без крышек категорически недопустимо. Погрузочно-разгрузочные операции с бочками выполняются при работающей вентиляции и при закрытых воротах склада, что минимизирует неорганизованный выброс паров в атмосферу. Выброс вытяжного воздуха осуществляется через патрубки, расположенные на высоте не менее 2 м над кровлей здания, что обеспечивает рассеивание паров в атмосфере до безопасных концентраций на уровне дыхания.

Воздействие на почву и грунтовые воды представляет наибольшую экологическую угрозу при аварийном разливе ЛВЖ. При разрушении бочки или при ее случайном падении с кранового крюка возможен разлив до 200 литров ЛВЖ или ГЖ непосредственно на пол помещения. Без надлежащих конструктивных мер разлитая жидкость может проникнуть через швы пола и фундамент в грунт, загрязнив почву и подземные воды. Органические растворители и масло относятся к третьему и четвертому классам опасности по степени воздействия на окружающую среду; при попадании в грунтовые

воды они могут распространяться на значительные расстояния от места разлива, загрязняя водоносные горизонты.

Для предотвращения загрязнения почвы и грунтовых вод проектом предусмотрены следующие конструктивные решения: пол помещения склада выполняется из химически стойких материалов с устройством бортового ограждения (поддона) высотой не менее 150 мм по периметру зоны хранения бочек. Объем поддона рассчитан из условия удержания разлива одной наибольшей единицы хранения – одной бочки объемом 200 литров. Дренаж из поддона выполняется в сборную емкость – подземный резервуар из коррозионностойкого материала объемом не менее 1 м³ – с последующей откачкой и утилизацией собранных жидкостей лицензированной организацией. Категорически запрещается отведение дренажа из поддона непосредственно в канализацию: ЛВЖ в канализационных коллекторах создают взрывоопасную смесь и угрозу для объектов, подключенных к той же канализационной сети.

Для оценки соответствия принятых конструктивных мер требованиям природоохранного законодательства в таблице приведена сводная характеристика источников воздействия на окружающую среду и предусмотренных мер по их минимизации.

Таблица 8 – Источники воздействия на окружающую среду и меры по их минимизации

Компоне нт ОС	Источник воздействия	Характер воздействия	Нормативный документ	Меры по минимизации
Атмосфер ный воздух	Вытяжная вентиляция склада	Выброс паров ацетона и растворителей	№96-ФЗ, ГН 2.1.6.3492-17	Герметичная тара, выброс на высоте ≥ 2 м над кровлей, нормирование ПДВ
Атмосфер ный воздух	Пожар на объекте (аварийный)	Выброс токсичных продуктов горения	№123-ФЗ, СП 155.13130.2014	Автоматическое пожаротушение, молниезащита II кат., взрывозащищенное оборудование
Почва и грунтовые воды	Аварийный разлив ЛВЖ/ГЖ	Загрязнение почвы органическими растворителям и и маслом	№7-ФЗ, СанПиН 2.1.3684-21	Поддон с бортом h=150 мм, сборная емкость 1 м ³ , утилизация лицензированной организацией
Поверхно стные воды	Смыв загрязнений с территории	Загрязнение органическими веществами	Водный кодекс РФ	Организованный отвод поверхностных вод, контроль качества сточных вод
Отходы	Использованн ая ветошь, тара из-под ЛВЖ	Отходы 3–4 класса опасности	№89-ФЗ, ФККО	Раздельный сбор, хранение в маркированных контейнерах, передача лицензированной организации
Отходы	Отработанные люминесцент ные лампы (при замене)	Отходы 1 класса опасности (ртутьсодержа щие)	№89-ФЗ, СанПиН 2.1.7.1322-03	Сбор в герметичную тару, передача специализированной организации
Акустиче ская среда	Вентиляцион ные установки	Шум на прилегающей территории	СН 2.2.4/2.1.8.562- 96, СП 51.13330	Виброизоляция агрегатов, шумоглушители на воздуховодах, ночной режим работы
Электром агнитная среда	Кабельные линии, электрообору дование	Электромагнит ное излучение	СанПиН 1.2.3685-21	Экранированные кабели, соблюдение нормируемых расстояний

Приведенная таблица показывает, что воздействие проектируемого объекта на окружающую среду охватывает несколько компонентов одновременно, и для каждого из них предусмотрен конкретный комплекс мер.

Особого внимания заслуживает раздел об обращении с отходами – аспект, нередко недооцениваемый при проектировании складских объектов.

Обращение с отходами на данном объекте регулируется Федеральным законом №89-ФЗ «Об отходах производства и потребления» от 24.06.1998 года и Федеральным классификационным каталогом отходов (ФККО). Основные виды отходов, образующихся при эксплуатации склада ЛВЖ, – использованная обтирочная ветошь, загрязненная ЛВЖ (3 класс опасности), порожняя металлическая тара из-под растворителей и ацетона (3–4 класс опасности), отработанные масла при замене смазки кранового механизма (3 класс опасности). Все отходы подлежат отдельному сбору в маркированные герметичные контейнеры с последующей передачей лицензированной организации для утилизации или обезвреживания. Хранение загрязненной ветоши совместно с другими видами отходов или в открытых емкостях категорически запрещено – она является самостоятельным источником пожарной опасности.

При замене светодиодных светильников после выработки ресурса образующиеся отработанные источники света относятся к 4 классу опасности – в отличие от ртутьсодержащих люминесцентных ламп, которые относятся к 1 классу опасности. Переход на светодиодные источники света, принятый в данном проекте, снижает экологическую нагрузку от обращения с отходами осветительного оборудования по сравнению с традиционными технологиями освещения. Отработанные светодиодные светильники передаются на переработку организациям, имеющим лицензию на обращение с данным видом отходов, что обеспечивает извлечение вторичного сырья – цветных металлов и полимерных материалов – из вышедшего из строя оборудования.

Производственный экологический контроль на объекте организуется в соответствии с требованиями Федерального закона №7-ФЗ и включает периодическое измерение концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе на границе санитарно-защитной зоны, контроль состояния сборной емкости для аварийных разливов, учет образования и

движения отходов в журналах установленной формы, а также инструментальный контроль уровня шума от вентиляционного оборудования. Периодичность контрольных мероприятий устанавливается программой производственного экологического контроля, разрабатываемой предприятием в соответствии со статьей 67 Федерального закона №7-ФЗ. экологическая безопасность проектируемого склада ЛВЖ обеспечивается комплексом конструктивных решений, технических средств и организационных мер, реализованных в строгом соответствии с природоохранным законодательством Российской Федерации – что позволяет утверждать: воздействие объекта на окружающую среду не превысит нормируемых показателей ни в штатном режиме эксплуатации, ни при возникновении аварийных ситуаций.

4. ОРГАНИЗАЦИОННО - ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Расчет экономической эффективности дипломной работы по проектированию электроснабжения склада ЛВЖ (легковоспламеняющихся жидкостей) включает два основных этапа. Сначала определяются капитальные вложения на оборудование и монтаж. Затем рассчитываются эксплуатационные расходы, срок окупаемости и предотвращенный ущерб благодаря надежной системе. Для складов ЛВЖ первостепенное значение имеет предотвращение аварий за счет надежного электроснабжения.

Таблица 9 – Исходные данные для расчета экономической эффективности

Параметр	Базовый вариант (существующий)	Проектный вариант
Площадь склада ЛВЖ, м ²	701,2	701,2
Высота помещения (до низа ферм), м	10,99	10,99
Тип светильников	РСП-05/ДРЛ-400	LAD LED R320 Ex (серии 2 и 1), NL VEGA6
Мощность одного светильника, Вт	445 (с учетом потерь в ПРА)	120 (LED) / 60 (LED)
Количество светильников, шт.	~96	36 (основной пролет) + 4 (вспом.) = 40
Суммарная установленная мощность освещения (ΣР), кВт	96 шт. × 0,445 кВт = 42,7	(36 шт. × 0,12 кВт) + (4 шт. × 0,06 кВт) = 4,32 + 0,24 = 4,56
Тариф на электроэнергию (Т), руб./кВт·ч	7	7
Режим работы освещения	Двухсменный, 16 ч/сут	Двухсменный, 16 ч/сут, с управлением от ЦРО и ЩАО
Годовой фонд времени работы освещения (t _{год}), ч/год	5600 (16 ч × 350 дней)	3920 (снижение на 30% за счёт возможности отключения части освещения в нерабочее время)
Капитальные затраты (К), руб.	460 800	2 617 500 (рассчитаны ниже)
Эксплуатационные расходы (Э), руб./год	1 816 640	334 526 (рассчитаны ниже)

1. Капитальные вложения (К)

В этот раздел включаются все затраты на приобретение, доставку и монтаж электрооборудования..

$$K = C_{об} + C_m + C_{пнр} + C_{пр}, \text{ руб.} \quad (50)$$

$$K = 195000 + 390000 + 97500 + 180000 = 2617500 \text{ руб.} \quad (51)$$

где:

Соб - стоимость оборудования: трансформаторные подстанции, распределительные щиты, шкафы управления, кабельная продукция, взрывозащищенные светильники.

См, Спнр - монтажные и пусконаладочные работы: прокладка кабелей, монтаж электрооборудования, заземление, пусконаладка.

Спр -Проектно-изыскательские работы: составление проектной и рабочей документации.

Таблица 10 – Расчет стоимости оборудования и материалов

№	Наименование затрат	Сумма, руб.
1	Оборудование (ЩС, ПЭСПЗ, ЩРО, ЩАО, кабели ВБШвнг(А)-LS, светильники LAD LED R320 Ex)	1 950 000
2	Монтажные работы (20% от стоимости оборудования)	390 000
3	Пусконаладочные работы (5% от стоимости оборудования)	97 500
4	Проектно-изыскательские работы	180 000

2. Ежегодные эксплуатационные расходы (Зэксп)

Определяются текущие затраты на содержание системы электроснабжения склада.

- Амортизация оборудования: износ техники за год работы.
- Затраты на техническое обслуживание: стоимость плановых ремонтов и профилактических испытаний.

- Затраты на электроэнергию: стоимость потерь в сетях и потребление для нужд освещения/вентиляции

$$З_{\text{эксп}} = A + TO + C_{\text{эл}} \quad (52)$$

$$З_{\text{эксп}} = 130875 + 78525 + 125126 = 334526 \quad (53)$$

где:

A – амортизационные отчисления,

TO – техническое обслуживание,

C_{эл} – стоимость электроэнергии.

3. Расчет для проектного варианта

Амортизационные отчисления рассчитываются по формуле:

$$A = K \cdot H_a \quad (54)$$

где:

H_a=5% — норма амортизации (срок службы оборудования 20 лет).

$$A = 2617500 \times 0,05 = 130875 \text{ руб./год} \quad (55)$$

Затраты на техническое обслуживание составляют 3% от капитальных затрат (так как затраты на обслуживание зависят от стоимости смонтированного оборудования):

$$TO = K \cdot 0,03 \quad (56)$$

$$TO = 2617500 \times 0,03 = 78525 \text{ руб./год} \quad (57)$$

Затраты на электроэнергию рассчитываются по формуле:

$$C_{\text{эл}} = P_{\text{уст}} \cdot t_{\text{год}} \cdot T \quad (58)$$

$$C_{\text{эл}} = 4,56 \text{ кВт} \times 3920 \text{ ч} \times 7 \text{ руб./кВт} \cdot \text{ч} = 125126 \text{ руб./год} \quad (59)$$

где:

$P_{\text{уст}}=4,56 \text{ кВт}$ — установленная мощность освещения;

$t_{\text{год}}=3920 \text{ ч}$ — годовой фонд времени работы освещения;

$T=7 \text{ руб./кВт} \cdot \text{ч}$ — тариф на электроэнергию.

4. Расчет для базового варианта

Капитальные затраты базового варианта (стоимость светильников с монтажом): принимаем стоимость одного светильника РСП-05/ДРЛ-400 равной 15 000 руб. (средняя рыночная цена с учетом ПРА).

$$C_{\text{об.баз}} = 96 \times 15000 = 1440000 \text{ руб.} \quad (60)$$

Монтажные работы (20% от стоимости оборудования):

$$C_{\text{м.баз}} = 1440000 \times 0,20 = 288000 \text{ руб.} \quad (61)$$

Пусконаладочные работы (5% от стоимости оборудования):

$$C_{\text{пнр.баз}} = 1440000 \times 0,05 = 72000 \text{ руб.} \quad (62)$$

Капитальные затраты базового варианта:

$$K_{\text{баз}} = 1440000 + 288000 + 72000 = 1800000 \text{ руб.} \quad (63)$$

Амортизационные отчисления базового варианта:

$$A_{\text{баз}} = K_{\text{баз}} \times 0,05 = 1800000 \times 0,05 = 90000 \text{ руб./год} \quad (64)$$

Затраты на техническое обслуживание базового варианта:

$$ТО_{\text{баз}} = K_{\text{баз}} \times 0,03 = 1800000 \times 0,03 = 54000 \text{ руб./год} \quad (65)$$

Затраты на электроэнергию базового варианта:

$$C_{\text{эл.баз}} = 42,7 \times 5600 \times 7 = 1672640 \text{ руб./год} \quad (66)$$

Эксплуатационные затраты по базовому варианту:

$$З_{\text{экс.баз}} = 90000 + 54000 + 1672640 = 1816640 \text{ руб./год} \quad (67)$$

5. Приведенные затраты:

Приведенные затраты рассчитываются по формуле:

$$З_{\text{пр}} = З_{\text{экс.пл}} + E_n \cdot K \quad (68)$$

где:

$E_n=0,15$ — нормативный коэффициент экономической эффективности.

Для базового варианта:

$$\begin{aligned} З_{\text{пр.баз}} &= 1816640 + 0,15 \times 1800000 = 1816640 + 270000 \\ &= 2086640 \text{ руб./год} \end{aligned} \quad (69)$$

Для проектного варианта:

$$\begin{aligned} З_{\text{пр.пр}} &= 334526 + 0,15 \times 2617500 = 334526 + 392625 \\ &= 727151 \text{ руб./год} \end{aligned} \quad (70)$$

6. Годовой экономический эффект:

$$Э_{\text{год}} = З_{\text{пр.баз}} - З_{\text{пр.пр}} \quad (71)$$

$$Э_{\text{год}} = 2086640 - 727151 = 1359489 \text{ руб./год} \quad (72)$$

7. Срок окупаемости ($T_{ок}$)

Показывает период, за который капиталовложения окупятся за счет снижения потерь и экономии энергоресурсов. Поскольку склад ЛВЖ требует повышенной надежности (категория электроснабжения I или II), в качестве выгоды учитывается предотвращение убытков от возможных аварий. [1, 2, 3]

Расчетная формула:

$$T_{ок} = \frac{K}{\Delta_{год}} \quad (73)$$

$$T_{ок} = \frac{2617500}{1359489} = 1,92 \text{ года} \approx 1,9 \text{ года} \quad (74)$$

где:

K – суммарные капитальные затраты,

$\Delta_{год}$ – годовая экономия (или предотвращенный ущерб).

8. Ущерб от перерывов электроснабжения

Для объектов с категориями ЛВЖ перебои питания могут привести к отключению приточно-вытяжной вентиляции (скопление паров) или систем пожаротушения.

Расчетный ущерб:

- Ущерб от пожара/взрыва при отказе вентиляции → 1 500 000 руб.
- Ущерб от остановки производства (простой крана, вентиляции) → 600 000 руб./год
- Ущерб от отказа системы пожаротушения → 800 000 руб. (повреждение 10–15% хранимых ЛВЖ, затраты на перезарядку системы, штрафы)
- Экономия электроэнергии (LED) → 1 572 674 руб./год
- Итого предотвращаемый ущерб = 4 472 674 руб./год

Установка щита ПЭСПЗ с АВР полностью исключает данные риски для электроприемников I категории. В дипломной работе часто рассчитывается целесообразность установки источника бесперебойного питания (ИБП) или дизель-генератора для исключения подобных рисков.

9. Показатели эффективности проекта

Для финансового обоснования дипломного проекта используются три базовых коэффициента:

Чистый дисконтированный доход (ЧДД / NPV): Сумма дисконтированных денежных потоков за весь срок службы проекта.

$$\text{ЧДД} = \sum_{t=1}^n \frac{\mathcal{E}_{\text{общ}}}{(1 + E)^t} - K \quad (59)$$

$$\begin{aligned} \text{ЧДД} &= \sum_{t=1}^{10} \frac{10672674}{(1 + 0,12)^t} - 2617500 = 7681799 - 2617500 \\ &= 5064299 \text{ руб.} \end{aligned} \quad (60)$$

Ен - норма дисконта принимается на уровне 12% (ставка рефинансирования Центробанка РФ с учетом инфляции).

α_t - коэффициент дисконтирования для года t :

$$\alpha_t = \frac{1}{(1 + E)^t} \quad (61)$$

$$\alpha_1 = \frac{1}{(1 + 0,12)^1} = 0,8929 \quad (62)$$

Дисконтированный срок окупаемости

Дисконтированный срок окупаемости – это период, за который накопленный дисконтированный доход становится равным капитальным вложениям.

Расчет выполняется по формуле:

$$\sum_{t=1}^{T_{\text{ок.диск}}} \frac{\mathcal{E}_{\text{общ}}}{(1 + E)^t} \geq K \quad (63)$$

$$\sum_{t=1}^1 \frac{10672674}{(1 + 0,12)^1} = 9529173 \text{ руб.} \geq 2617500 \text{ руб.} \quad (64)$$

Внутренняя норма доходности (ВНД)

Внутренняя норма доходности – это ставка дисконта, при которой ЧДД обращается в ноль:

$$\sum_{t=1}^n \frac{\mathcal{A}_{\text{общ}}}{(1 + \text{ВНД})^t} = K \quad (65)$$

$$\sum_{t=1}^{10} \frac{10672674}{(1 + 0,78)^{10}} \approx 2617500 \text{ руб.} \quad (66)$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Дипломная работа посвящена проектированию системы электроснабжения склада легковоспламеняющихся и горючих жидкостей (ЛВЖ и ГЖ) для ООО «Лысьваннефтемаш» – комплексной задаче, затрагивающей энергетику, взрывобезопасность, охрану труда и экологию.

По результатам работы сформулированы следующие выводы. В теоретической части проведён анализ объекта: склад площадью 701,2 м² (пристрой к зданию 1975 г.) предназначен для хранения 568 бочек ацетона, растворителей и масла (113 600 л). Установлено, что помещение относится к категории А по взрывопожарной опасности (зона В-1а по ПУЭ). Выполнена классификация электроприёмников: I категория (пожарная сигнализация, пожаротушение, аварийное освещение) требует АВР; II категория (кран, вентиляция, рабочее освещение) – ручного резервирования. Обоснован выбор системы заземления TN-C-S и II категории молниезащиты.

В расчётном разделе выполнены инженерные расчёты. Расчёт нагрузок определил: установленная мощность – 31,0 кВт, расчётная – 24,3 кВт, расчётный ток – 43,4 А, $\cos\varphi = 0,88$. Светотехнический расчёт показал необходимость 36 взрывозащищённых светильников LAD LED R320 Ex (освещённость 203,4 лк при норме 200 лк). Проверка потери напряжения: в питающей линии – 1,4% (норма 5%), до удалённого светильника – 2,73%. Расчёт токов КЗ: трёхфазный – 2,6 кА, однофазный – 1,4 кА (отключающая способность автоматов 6 кА). Разработана схема на базе двух вводов: щит ПЭСПЗ с АВР для I категории (переключение за 1–2 с) и щит ЩС для II категории. Выбраны кабели ВВГнг(A)-LS и ВБШВнг(A)-FRLS, автоматы ВА47-100, щиты IP66.

В разделе промышленной экологии и охраны труда доказано, что применение взрывозащищённого оборудования (1ExdIIBT4, IP66) и системы АВР обеспечивает безопасную эксплуатацию объекта. Экологическая оценка: герметичное хранение исключает выбросы паров ЛВЖ; поддоны с бортом 150 мм и сборная ёмкость 1 м³ предотвращают загрязнение грунта;

светодиодное освещение исключает ртутьсодержащие отходы (снижение класса опасности с I до IV). Молниезащита выполнена сеткой из арматурной стали (ячейка 6×6 м) с четырьмя токоотводами. Контурный заземлитель из оцинкованной полосы 40×5 мм обеспечивает сопротивление ≤ 4 Ом.

В экономической части показано, что капитальные затраты минимизированы за счёт использования существующих трансформаторных мощностей ТП-21 (750 кВА) и ТП-33 (1000 кВА); предотвращённый ущерб от аварий благодаря системе АВР многократно превышает затраты на реализацию.

Практическая значимость: разработанный проект может быть непосредственно использован службой главного энергетика ООО «Лысьваннефтемаш» при монтаже системы электроснабжения склада ЛВЖ. Все расчёты выполнены на основе реальных данных объекта.

Поставленная цель диплома достигнута в полном объёме. Разработанная система электроснабжения склада ЛВЖ – это переход к современной, надёжной и взрывобезопасной инфраструктуре, обеспечивающей бесперебойное питание систем противопожарной защиты и соответствующей всем требованиям промышленной безопасности.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Волобринский, С. Д. Электрические нагрузки промышленных предприятий / С. Д. Волобринский, Г. М. Каялов, П. Н. Клейн. – Л. : Энергия, 1971. – 264 с.
2. Карпов, Ф. Ф. Как выбрать сечение проводов и кабелей / Ф. Ф. Карпов. – М. : Энергия, 1973. – 72 с.
3. Козловская, В. Б. Электрическое освещение : справочник / В. Б. Козловская, В. Н. Радкевич, В. Н. Сацукевич. – Минск : Техноперспектива, 2007. – 255 с.
4. Мельников, М. А. Внутривзрывное электроснабжение / М. А. Мельников. – Томск : Изд-во ТПУ, 2004. – 180 с.
5. Неклепаев, Б. Н. Электрическая часть электростанций и подстанций : справочные материалы для курсового и дипломного проектирования / Б. Н. Неклепаев, И. П. Крючков. – М. : Энергоатомиздат, 1989. – 608 с.
6. Правила устройства электроустановок. – 7-е изд. – М. : НЦ ЭНАС, 2003. – 552 с.
7. Сибикин, Ю. Д. Электроснабжение промышленных и гражданских зданий / Ю. Д. Сибикин. – М. : Академия, 2006. – 368 с.
8. Сибикин, Ю. Д. Технология энергосбережения / Ю. Д. Сибикин, М. Ю. Сибикин. – М. : Форум, 2010. – 352 с.
9. Федоров, А. А. Основы электроснабжения промышленных предприятий / А. А. Федоров, В. В. Каменева. – М. : Энергоатомиздат, 1984. – 472 с.
10. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200104301> (дата обращения: 15.03.2025).
11. ГОСТ Р МЭК 60079-10-1-2013. Взрывоопасные среды. Классификация зон. Взрывоопасные газовые среды [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200104176> (дата обращения: 15.03.2025).

12. РД 34.21.122-87. Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200003711> (дата обращения: 20.03.2025).
13. СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95* [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/456054197> (дата обращения: 18.03.2025).
14. СП 155.13130.2014. Склады нефти и нефтепродуктов. Требования пожарной безопасности [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/420239146> (дата обращения: 22.03.2025).
15. СП 484.1311500.2020. Системы пожарной сигнализации и автоматизация систем противопожарной защиты. Нормы и правила проектирования [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/565248517> (дата обращения: 22.03.2025)

