

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Тольяттинский государственный университет»

Институт химии и энергетики

(наименование института полностью)

Кафедра Электроснабжение и электротехника

(наименование)

13.03.02. Электроэнергетика и электротехника

(код и наименование направления подготовки / специальности)

Электроснабжение

(направленность (профиль) / специализация)

## ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Реконструкция системы освещения подающей насосной станции АО ТЕВИС

Обучающийся

Д.О. Пестов

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

С.В. Шлыков

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Тольятти 2023

## Аннотация

В результате проведенных исследований в работе, проведена разработка проекта реконструкции системы освещения подающей насосной станции АО «ТЕВИС», которая обусловлена установкой новых источников освещения, а также сетей и аппаратов на объекте.

Для достижения указанной цели, в работе были решены следующие основные задачи:

- дана характеристика объекта проектирования;
- обоснован выбор электрической схемы системы освещения подающей насосной станции АО «ТЕВИС»;
- проведен расчет электрических нагрузок системы освещения подающей насосной станции АО «ТЕВИС»;
- выбраны новые источники освещения, а также светильники и щиты освещения, для применения во внешней и внутренней осветительной сети подающей насосной станции АО «ТЕВИС»;
- осуществлен выбор и проверка новых проводников и аппаратов защиты и коммутации системы освещения подающей насосной станции АО «ТЕВИС»;
- выбрана новая современная система контроля и управления системой освещения подающей насосной станции АО «ТЕВИС».

Данные результаты работы были проверены согласно нормативно-правовым документам отрасли.

В работе была успешно разработан проект системы освещения подающей насосной станции АО «ТЕВИС», что позволит обеспечить бесперебойную и безопасную работу данного предприятия.

Работа представлена пояснительной запиской объемом 58 печатных страниц и шестью чертежами формата А1.

## Содержание

Введение .....	4
1 Анализ исходных данных .....	7
1.1 Краткая характеристика подающей насосной станции АО «ТЕВИС»..	7
1.2 Требования к системам и схемам освещения насосных станций .....	11
1.3 Обоснование мероприятий по реконструкции системы освещения объекта .....	15
2 Разработка реконструкции системы освещения подающей насосной станции АО «ТЕВИС».....	17
2.1 Реконструкция схемы освещения подающей насосной станции.....	17
2.2 Выбор нормируемых показателей электрического освещения .....	18
2.3 Светотехнический расчёт помещений подающей насосной станции АО «ТЕВИС» .....	19
2.4 Электротехнический расчёт помещений подающей насосной станции АО «ТЕВИС».....	34
2.5 Монтаж кабельных линий подающей насосной станции АО «ТЕВИС» .....	49
3 Разработка автоматизированной системы управления наружным освещением подающей насосной станции АО «ТЕВИС» .....	52
Заключение .....	55
Список используемых источников.....	57

## Введение

Подающие насосные станции (ПНС) используют для перекачки жидкостей из резервуара в другой или для выхода одной жидкости в трубопроводную сеть. Они играют важную роль в промышленности, энергетике, городском водоснабжении, орошении и других местах, где требуется перекачка жидкостей.

ПНС включает в себя системы охлаждения, кондиционирования воздуха, вакуумные системы и множество других функций, где необходимо перемещение жидкостей или газов на большие расстояния.

ПНС необходима в том случае, когда недостаточно давления и скорости движения жидкости или газа, относительно их большого перемещения или подъема на большую высоту.

Это происходит за счёт преобразования энергии двигателя в механическую работу насоса, который подаёт жидкость или газ в трубопроводную систему.

Конкретное назначение ПНС зависит от конкретной инженерной системы, в которой они используются.

Например, водоснабжение городов может иметь несколько ПНС, чтобы перемещать воду из источников водоснабжения в баках на высоких высотах и водонапорных башнях.

В нефтеперерабатывающей промышленности ПНС используют для перемещения нефти из скважин на терминалы, нефтепереработки и транспортные суда.

Таким образом, ПНС играет важную роль в оценке и безопасном транспортировании жидкостей в различных сферах деятельности.

Освещение подаваемой насосной станции (ПНС) играет важную роль в выявлении и значительной работе инженерной системы.

Во-первых, хорошее освещение на ПНС необходимо для обеспечения безопасности персонала, работающего на станции.

Возможность наблюдения за оборудованием и окружающей средой в условиях недостаточного естественного освещения предотвращения несчастных случаев и повышения эффективности работы.

Во-вторых, освещение также имеет важное значение для обслуживания оборудования ПНС.

В некоторых случаях персонал может нуждаться в осмотре или ремонте оборудования, расположенного в малоинформативных местах, и хорошее освещение позволяет им выполнять эти задачи по безопасности и свободно.

Кроме того, освещение может сыграть роль в предсказуемой работе оборудования на ПНС. Некоторые типы оборудования, например датчики и системы освещения, могут использоваться для контроля работы.

Таким образом, хорошее освещение на ПНС имеет не только эргономическую и эстетическую роль, но и важную функциональную роль, помогая обеспечить безопасную и эффективную работу инженерной системы.

Данные аспекты обуславливают актуальность выполнения настоящей работы.

Основной целью работы является разработка проекта реконструкции системы освещения подающей насосной станции АО «ТЕВИС», которая обусловлена установкой новых источников освещения, а также сетей и аппаратов на объекте.

Объектом исследования в данной работе является подающая насосная станция АО «ТЕВИС».

Предметом исследования выступает система электрического освещения подающей насосной станции АО «ТЕВИС», включая схему нормальных электрических соединений системы освещения объекта, а также основное осветительное электрооборудование данного объекта исследования.

Для достижения указанной цели, в работе необходимо решить следующие основные задачи:

- привести основную характеристика объекта проектирования;

- обосновать выбор электрической схемы системы освещения подающей насосной станции АО «ТЕВИС»;
- провести расчет электрических нагрузок системы освещения подающей насосной станции АО «ТЕВИС»;
- выбрать новые источники освещения, а также светильники и щиты освещения, необходимые для применения во внешней и внутренней осветительной сети подающей насосной станции АО «ТЕВИС»;
- осуществить выбор и проверку новых проводников и аппаратов защиты и коммутации системы освещения подающей насосной станции АО «ТЕВИС»;
- выбрать новую современную систему контроля и управления системой освещения подающей насосной станции АО «ТЕВИС».

Данные результаты работы должны быть проверены согласно нормативно-правовым документам отрасли.

Решение данных вопросов осуществляется в работе далее, основываясь на нормативных положениях технических документов электроэнергетики.

Таким образом, в работе необходимо разработать проект реконструкции системы освещения нового подающей насосной станции АО «ТЕВИС», что позволит обеспечить бесперебойную, надёжную, экономичную, экологичную и безопасную работу данного объекта.

## **1 Анализ исходных данных**

### **1.1 Краткая характеристика подающей насосной станции АО «ТЕВИС»**

Рассматриваемый в работе объект проектирования (подающая насосная станция АО «ТЕВИС»), является современным технологическим решением в системе водоснабжения г. Тольятти.

Подающая водонасосная станция (ПДВНС) АО «ТЕВИС» связана с перекачивание технической и питьевой воды из водоисточников и резервуаров в системе водоснабжения г. Тольятти Самарской области.

Она используется для создания необходимого давления воды в системе, что обеспечивает нормальное функционирование системы водоснабжения и потребление воды для потребителей.

ПДВНС также повышает эффективность работы системы, расходует энергию и обслуживание, и вероятность возникновения аварийных ситуаций в системе водоснабжения.

Ее основные функции состоят в следующем [2]:

- подача воды: ПДВНС автоматически подает воду в систему водоснабжения, поддерживает повышенное давление и объем воды;
- контроль давления: ПДВНС автоматического регулирования давления, которое позволяет поддерживать заданное давление в системе;
- защита от перегрузок: ПДВНС оснащена защитой от перегрузок, которые могут привести к отказу оборудования или другим нештатным ситуациям;
- автоматическая работа: ПДВНС работает автоматически, без участия оператора, что потребляет подачу воды в систему;

- экономия энергии: ПДВНС использует энергию только при необходимости, что позволяет экономить электроэнергию и снижать эксплуатационные расходы;
- простота обслуживания: ПДВНС имеет простую видимость и легко обслуживается, что требует затрат на техническое обслуживание и ремонт.

Технические показатели подающей насосной станции АО «ТЕВИС», частично используемые в работе для расчёта освещения, следующие [2], [5]:

- эксплуатационные показатели: расход воды – 275 м<sup>3</sup>/сутки, расход пара – 2,76 т/час, расход холода – 34060 ккал/час, мощность электроэнергии – 215 кВт;
- количество работающих – 5 человек (посменно);
- строительные показатели: строительный объем – 10747 м<sup>3</sup>, площадь застройки – 2460 м<sup>2</sup>, площадь основного назначения – 2675 м<sup>2</sup>. Здание запроектировано в двух вариантах: с полным и неполным железобетонным каркасом. Стены при полном каркасе – кирпичные самонесущие на сборных железобетонных фундаментных балках; при неполном каркасе – кирпичные, несущие, на ленточных бутобетонных фундаментах. Покрытие – совмещенное, из сборных железобетонных плит. Кровля рулонная. Полы – асфальтобетонные, цементные, из керамических плиток, из линолеума;
- инженерное оборудование: здание оборудовано воздушным отоплением, совмещенным с приточной вентиляцией и центральным паровым отоплением высокого давления. Водоснабжение, теплоснабжение и канализация предусматриваются от существующих сетей.

В состав рассматриваемой в работе насосной станции входят следующие помещения, которые выполняют основную функциональную задачу на данном объекте и подлежат разработке системы освещения в них:

- машинный зал основной;



- машинный зал малый;
- фильтрационная;
- склад запасных частей и оборудования;
- помещение для хранения технических масел;
- механический участок;
- аэраторная;
- помещение для хранения химических реагентов;
- навес над технической площадкой;
- компрессорная;
- бытовые и служебно-вспомогательные помещения;
- наружная площадка.

Исходные данные технических помещений подающей насосной станции АО «ТЕВИС» представлены в форме таблицы 1.

Таблица 1 – Исходные данные технических помещений подающей насосной станции АО «ТЕВИС»

Номер помещения в соответствии с экспликацией	Помещение или участок	Площадь, м <sup>2</sup>	Условия среды
1	Машинный зал основной	226,6	Сырая
2	Машинный зал малый	108,1	Сырая
3	Фильтрационная	108,5	Сырая
4	Склад запасных частей и оборудования	135,5	Нормальная
5	Помещение для хранения технических масел	50,0	Нормальная
6	Механический участок	49,2	Пыльная
7	Аэраторная	16,7	Сырая
8	Помещение для хранения химических реагентов	22,9	Нормальная
9	Навес над технической площадкой	5,6	Сырая
10	Компрессорная	7,2	Жаркая
11	Бытовые и служебно-вспомогательные помещения	22,8	Наружная, сырая
12	Наружная площадка	8,5	Наружная, сырая

Питание рассматриваемой в работе осветительной сети подающей насосной станции АО «ТЕВИС» осуществляется от одного ввода питающей трансформаторной подстанции ТП-6/0,4 кВ кабельной линией марки ВВГ 4×16 (прокладка – под землёй). Питающая линия на объекте была модернизирована и заменена в 2018 году.

Далее питание приходит на вводной щиток освещения всей осветительной сети подающей насосной станции АО «ТЕВИС» – ЩРО. В ЩРО находится устаревший вводной автомат марки АЕ (введён в эксплуатацию в 1978 году). От ЩРО получают питания два щитка рабочего освещения магистрального типа: МЩРО-1 и МЩРО-2. От них питаются линии освещения, защищённые автоматами марки ВА (установлены в 2018 году). Однолинейная схема осветительной сети подающей насосной станции АО «ТЕВИС» до реконструкции представлена на рисунке 1.

Подвод к ЩО			Щиток освещения					Осветительная сеть						
Марка и сечение пров.	Расчетный ток, А	Способ прокладки	Откл. аппарат на вводе	Ток плавкой вставки или расцепл., А	Тип и схема ЩО и номер групп	Тип автомата или преобразов.	Ток расцепл. или плавк. вставки, А	Установл. мощность группы, Вт	Расчетный ток группы, А	Марка и сечение пров.	Потеря напряжения %	Способ прокладки	К какой фазе подключить	Вид освещения
ВВГ 4х16	41,9	Под землей	ПВЗ-100	63	ЩРО	АЕ2046	31,5	9725	25,5	ВВГ-4х10	0,06	под полом		
						АЕ2046 резерв	25	6220	16,3	ВВГ-4х6	0,20	под полом		
					МЩРО-1	ВА16-25-14	6,3	1000	4,54	ППВ-3х2,5	0,80	на скобах	А	Рабочее
					2	ВА16-25-14	6,3	1300	5,91	ППВ-3х2,5	1,45	на скобах	В	Рабочее
					3	ВА16-25-14	6,3	1300	5,91	ППВ-3х2,5	1,58	на скобах	С	Рабочее
					4	ВА16-25-14	6,3	1095	4,97	ППВ-3х2,5	1,57	на скобах	А	Рабочее
					5	ВА16-25-14	6,3	910	4,13	ППВ-3х2,5	1,16	на скобах	В	Рабочее
					6	ВА16-25-14	6,3	1000	4,54	ППВ-3х2,5	1,60	на скобах	С	Рабочее
					7	ВА16-25-14	6,3	1020	4,63	ППВ-3х2,5	1,63	на скобах	А	Рабочее
					8	ВА16-25-14	6,3	1140	5,18	ППВ-3х4	1,48	на скобах	В	Рабочее
					9	ВА16-25-14	6,3	960	4,36	ППВ-3х2,5	0,92	на скобах	С	Рабочее
					МЩРО-2	ВА16-25-14	6,3	1260	5,72	ППВ-3х2,5	1,01	на скобах	А	Рабочее
					2	ВА16-25-14	6,3	1000	4,54	ППВ-3х2,5	0,48	на скобах	В	Рабочее
					3	ВА16-25-14	6,3	1000	4,54	ППВ-3х2,5	0,64	на скобах	С	Рабочее
					4	ВА16-25-14	3,15	480	2,18	ППВ-3х2,5	1,22	на скобах	А	Рабочее
					5	ВА16-25-14	3,15	480	2,18	ППВ-3х2,5	1,07	на скобах	В	Рабочее
					6	ВА16-25-14	6,3	1000	4,54	ППВ-3х2,5	0,96	на скобах	С	Рабочее
					4 резерв									
					5	ВА16-25-14	6,3	1000	4,54	ППВ-3х2,5	1,44	на скобах	В	Рабочее
					6 резерв									

Рисунок 1 – Однолинейная схема осветительной сети подающей насосной станции АО «ТЕВИС»

На основании приведённых исходных данных, далее в работе проводится решение поставленных задач.

## 1.2 Требования к системам и схемам освещения насосных станций

Далее в работе, для достижения поставленной цели, требуется привести основные требования к системам и схемам освещения насосных станций, к которым относится объект проектирования.

При проектировании освещения объектов различного назначения необходимо руководствоваться нормативными требованиями к освещению [13]. Светильники должны соответствовать требованиям норм пожарной безопасности [14].

В общем случае, основные требования к освещению современных насосных станций включают:

- обеспечение достаточной освещенности: освещение должно быть достаточным, чтобы обеспечить комфортные условия работы и предотвратить возможность возникновения ошибок и аварийных случаев;
- правильное расположение светильников: светильники должны располагаться таким образом, чтобы освещение было равномерным и отсутствовало тени и слепящие тени;
- использование специальных светильников: для освещения насосных установок, могут применяться специальные светильники, которые могут создавать устойчивые факторы к воздействию атмосферы и влажности;
- безопасность: освещение должно быть безопасным и не вызывать ослепление и раздражение глаз;
- экономия электроэнергии: освещение насосных станций должно быть эффективным с точки зрения потребления электроэнергии, что позволяет экономить электроэнергию и потреблять меньше энергии.

Схемы освещения насосных станций зависят от различных условий эксплуатации.

Однако в наиболее распространенных случаях для освещения насосных

станций используются различные типы светильников, такие как люминесцентные лампы, светодиодные светильники или галогенные лампы, а также различные типы светораспределения, например, направленное освещение или общее освещение.

Конкретный выбор системы и схемы освещения должен быть основан на конкретных требованиях и условиях эксплуатации насосной станции.

Системы освещения насосных станций должны соответствовать следующим требованиям [8], [17], [20]:

- надежность: системы освещения должны быть надежными и защищенными от катастрофических сбоев, таких как короткие замыкания и перегрузки;
- эффективность: системы освещения должны быть достаточно эффективными, чтобы обеспечить необходимую мощность для оборудования и процессов;
- безопасность: системы освещения должны быть безопасными для окружающей среды и людей, работающих с ними;
- соответствие стандартам: системы освещения должны соответствовать местным и международным стандартам безопасности и эффективности.

В схемах освещения насосных станций также должны учитываться следующие факторы [8], [17], [20]:

- высокий уровень защиты: схемы освещения должны обеспечивать высокий уровень защиты от воздействия внешних факторов, таких как влажность и коррозия;
- эффективная диспетчеризация: схемы освещения должны предусматривать эффективную диспетчеризацию электроэнергии между различными объектами и устройствами;
- гибкость: схемы освещения должны быть гибкими и простыми в использовании, чтобы можно было легко вносить изменения в случае изменения требований к процессу или оборудованию;

- экономия электроэнергии: схемы освещения должны предусматривать возможность экономии электроэнергии, например, с помощью энергоэффективных устройств и методов управления электроэнергией.
- удобство обслуживания: схемы освещения должны быть удобными для обслуживания и ремонта, чтобы можно было быстро и эффективно устранять неисправности.

В схемах освещения наиболее часто используются следующие щитки освещения:

- рабочего освещения (ЩРО);
- аварийного освещения (ЩАО);
- эвакуационного освещения (ЩЭО).

Согласно классификации [14], выделяют основные типы освещения насосных станций, которые представлены в работе в виде схемы на рисунке 2.



Рисунок 2 – Основные типы освещения насосных станций

В результате проведения анализа схем распределения электроэнергии в осветительных сетях установлено, что на большинстве насосных станций применяются схемы освещения двух групп:

- с резервированием при двух источниках питания;
- без резервирования от одного источника питания.

Схемы, применяемые в системах освещения, могут быть радиальными, магистральными или смешанными (рисунок 3).

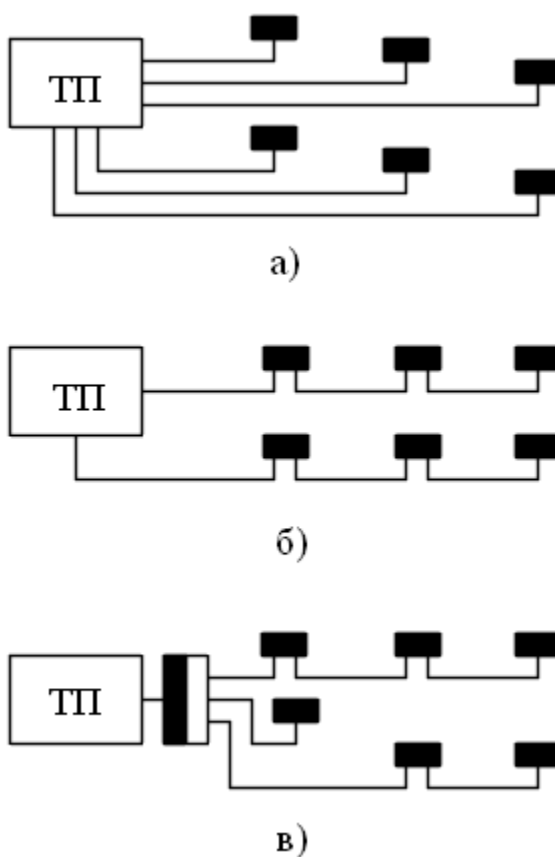


Рисунок 3 – Схемы распределения электроэнергии в осветительных сетях: а – радиальные; б – магистральные; в – смешанные

Выбор схемы питания освещения напрямую зависит от категории надёжности объекта.

Таким образом, установлено, что общие требования к системам и схемам освещения насосных станций должны обеспечивать безопасное, эффективное и экономически выгодное электрическое искусственное освещение для процессов и оборудования на предприятии.

### **1.3 Обоснование мероприятий по реконструкции системы освещения объекта**

На основании исходных технических данных насосной станции АО «ТЭВИС», с учётом требований нормативных документов и положений, приведённых в работе ранее, проводится аргументированное обоснование мероприятий по реконструкции системы освещения объекта исследования.

Рассматриваемая в работе система электроснабжения подающей насосной станции АО «ТЭВИС» относится ко II категории надёжности.

В такой системе электроснабжения на питающей подстанции должны быть установлены два силовые трансформатора [6], [10], [12].

При этом важно, чтобы с учётом резервирования в системе освещения объекта проектирования, питание рабочего и аварийного освещения было разделено [7], [11]. Однако в исходной схеме осветительной сети подающей насосной станции АО «ТЭВИС» данное условие не выполняется.

В результате проведения анализа установлено, что в исходной схеме осветительной сети подающей насосной станции АО «ТЭВИС» существуют следующие недоработки, которые необходимо устранить в работе:

- полностью отсутствует аварийная система освещения;
- система наружного освещения получает питание от общей системы внутреннего освещения, что не рекомендовано [10], [13];
- для системы освещения используется только один ввод от питающей подстанции ТП-6/0,4 кВ, что противоречит требованиям, предъявляемым к схемам потребителей II категории надёжности положениями и нормами [9], [14];
- применены устаревшие лампы накаливания, а также автоматы сети освещения объекта проектирования;
- монтаж осветительных сетей внутренних помещений не рекомендован с применением способа монтажа скобами, который применён на данном объекте.

Выводы по разделу.

Приведена исходная характеристика технологического процесса подающей насосной станции АО «ТЕВИС», а также характеристика основных помещений объекта проектирования, необходимая для дальнейшего проведения светотехнического расчёта.

Приведены основные требования к системам и схемам освещения насосных станций, к которым относится объект проектирования.

В результате проведения анализа установлено, что в исходной схеме осветительной сети подающей насосной станции АО «ТЕВИС» существуют следующие недоработки, которые необходимо устранить в результате проведения реконструкции:

- полностью отсутствует аварийная система освещения;
- система наружного освещения получает питание от общей системы внутреннего освещения, что не рекомендовано [13], также отсутствует автоматизация сетей наружного освещения;
- для системы освещения используется только один ввод от питающей подстанции ТП-6/0,4 кВ, что противоречит требованиям, предъявляемым к схемам потребителей II категории надёжности положениями и нормами [9], [14];
- применены устаревшие лампы накаливания, а также автоматы питающей и распределительной сети освещения объекта проектирования;
- монтаж осветительных сетей внутренних помещений не рекомендован с применением способа монтажа скобами, который применён на данном объекте.

Данные вопросы должны быть решены в рамках реконструкции системы освещения осветительной сети подающей насосной станции АО «ТЕВИС», осуществляемой в работе далее.



## 2 Разработка реконструкции системы освещения подающей насосной станции АО «ТЕВИС»

### 2.1 Реконструкция схемы освещения подающей насосной станции

Далее в работе аргументируются мероприятия по реконструкции схемы освещения подающей насосной станции АО «ТЕВИС».

Ранее было установлено, что на объекте проектирования необходимо устранить некоторые недоработки в схеме электрических соединений.

Решение поставленных задач по реконструкции схемы освещения подающей насосной станции АО «ТЕВИС» выполняется в форме таблицы 2.

Таблица 2 – Решение поставленных задач по реконструкции схемы освещения подающей насосной станции АО «ТЕВИС»

Проблема	Нормативный документ	Решение
Полностью отсутствует аварийная система освещения	[13]	Проектирование и ввод в эксплуатацию отдельных линий и щитков аварийного освещения (питание – от двух независимых источников)
Система наружного освещения получает питание от общей системы внутреннего освещения	[14]	Разделить системы наружного и внутреннего освещения объекта на различные линии и щитки
Отсутствует автоматизация сетей наружного освещения	[18]	Внедрить автоматизацию сетей наружного освещения
Используется только один ввод от питающей подстанции ТП-6/0,4 кВ	[14]	Внедрить второй ввод от питающей подстанции ТП-6/0,4 кВ
Применены устаревшие лампы накаливания, а также автоматы питающей и распределительной сети освещения	[19]	Выбрать новое оборудование
Монтаж распределительной сети освещения на скобах	[19]	Внедрить монтаж распределительной сети на лотках

Указанные мероприятия по решению поставленных задач по реконструкции схемы освещения подающей насосной станции АО «ТЕВИС» осуществляются в работе далее.

## 2.2 Выбор нормируемых показателей электрического освещения

Далее в работе проводится расчёт параметров искусственного освещения подающей насосной станции АО «ТЕВИС», включая выбор нормируемых показателей электрического освещения для помещений подающей насосной станции АО «ТЕВИС».

Нормированные показатели электрического освещения должны обеспечить нормальные условия зрительной работы человека, а также способствовать продуктивности животных (что в данном случае не требуется).

Освещенность нормируется в горизонтальной плоскости [14].

Выбор нормируемых показателей электрического освещения для помещений подающей насосной станции АО «ТЕВИС» представлен в форме таблицы 3.

Таблица 3 – Выбор нормируемых показателей электрического освещения для помещений подающей насосной станции АО «ТЕВИС»

Номер помещения в соответствии с экспликацией	Помещение или участок	Рабочая поверхность, где нормируется освещенность	Освещенность, лк	
			при ГРЛ и ЛЛ	при LED
1	Машинный зал основной	Пол	200	150
2	Машинный зал малый	Пол	200	150
3	Фильтрационная	0,8 м от пола	300	150
4	Склад запасных частей и оборудования	Пол	100	50
5	Помещение для хранения технических масел	Пол	100	50
6	Механический участок	Пол	100	50
7	Аэрационная	Пол	75	30
8	Помещение для хранения химических реагентов	Пол	75	30
9	Навес над технической площадкой	Пол	75	30
10	Компрессорная	Пол	150	75
11	Бытовые и служебно-вспомогательные помещения	Пол	150	75
12	Наружная площадка	Пол	-	5

### **2.3 Светотехнический расчёт помещений подающей насосной станции АО «ТЕВИС»**

Для расчёта освещения помещений подающей насосной станции АО «ТЕВИС» можно использовать различные методы, включая следующие:

- метод расчёта по нормам освещённости. Этот метод заключается в определении требуемой освещённости для каждого помещения подающей насосной станции АО «ТЕВИС» в соответствии с нормативными документами (например, [13] и [14]). Затем определяется количество светильников и их мощность, необходимых для достижения требуемой освещённости;
- метод расчёта по коэффициенту использования светового потока. Этот метод основывается на определении коэффициента использования светового потока помещения, который зависит от формы и размеров помещения, световых свойств его поверхностей и расположения источников света. Затем определяется необходимый световой поток, который должен быть получен от светильников, и выбираются светильники с соответствующей мощностью и световым потоком;
- метод расчёта по суммарной мощности светильников. Этот метод заключается в определении суммарной мощности светильников, необходимых для обеспечения требуемой освещённости в помещении. Затем выбираются светильники с соответствующей мощностью.

При выборе метода расчёта необходимо учитывать особенности помещения, требования нормативных документов, а также предпочтения заказчика.

Светотехнический расчёт осветительных установок выполняется методом коэффициента использования. Порядок расчета приведен ниже.

По заданным строительным параметрам помещения: длине и ширине

определяется стандартный строительный модуль (причем длина и ширина помещения должна быть кратна параметрам выбранного строительного модуля) и вычисляется площадь помещения (таблица 1).

Проводится выбор вида, системы освещения и типа источников света.

Учитывая, что люминесцентные лампы нормально работают в ограниченном интервале температур (+18°...+25°С), а также имеют большую стоимость и низкую экологичность, планируется их использовать в помещениях с высоким уровнем освещенности, а в некоторых подсобных помещениях с агрессивной средой (таблица 1), целесообразнее будет установить светильники со светодиодными лампами [12].

Принимая во внимание характер работы насосной станции, условия внешней среды и требования освещенности, заполняется таблица 4.

Таблица 4 – Выбор вида, системы освещения и типа источников света

Номер помещения в соответствии с экспликацией	Наименование помещения	Освещенность рабочей поверхности, лк		Тип источника света
		Рабочее	Аварийное	
1	Машинный зал основной	200	20	ЛЛ
2	Машинный зал малый	200	20	ЛЛ
3	Фильтрационная	300	30	ЛЛ
4	Склад запасных частей и оборудования	50	5	LED
5	Помещение для хранения технических масел	50	5	LED
6	Механический участок	100	10	ЛЛ
7	Аэраторная	30	3	LED
8	Помещение для хранения химических реагентов	30	3	LED
9	Навес над технической площадкой	30	3	LED
10	Компрессорная	150	15	ЛЛ
11	Бытовые и служебно-вспомогательные помещения	150	15	ЛЛ
12	Наружная площадка	5	0,5	LED
Примечание ЛЛ – люминесцентная лампа; LED – светодиодная лампа				

Проводится выбор коэффициента запаса и добавочной освещенности.

Так как все помещения насосной станции относятся к помещениям с малым выделением пыли, дыма или копоти, то коэффициент запаса для LED выбирается  $K_z = 1,3$ , а для ЛЛ  $K_z = 1,5$ .

Для учета воздействия удаленных светильников рекомендуется принимать коэффициент добавочной освещенности в пределах  $\mu = 1,05 \dots 1,1$

Принимается  $\mu = 1,1$ .

Для каждого помещения, согласно его назначения, выбирается соответствующий светильник.

Так, например, для машинного зала (основного) выбирается светильник производственного типа ЛПО28 с люминесцентными лампами, для которых относительное расстояние между светильниками  $\lambda = 1,6$  м.

Приводится пример расчета осветительной установки точечным методом, взяв для этой цели помещение машинного зала (основного).

Данный объект представляет собой помещение размером  $18,0 \times 24,0$  м. Высота помещения  $h = 4,0$  м.

Высота подвеса светильников выбирается  $h_c = 0,5$  м.

Высота рабочей поверхности  $h_p = 0$  м.

Расчетная высота определяется по формуле:

$$h_p = h - h_c - h_g, \text{ м}, \quad (1)$$

где  $h$  – высота помещения, м;

$h_c$  – высота свеса светильника от потолка (для ламп LED промышленного типа промышленного типа значение  $h_c = 0,2-0,4$  м; для ЛЛ принято  $h_c = 0$  м).

По условию (1):

$$h_p = 4000 - 500 - 0 = 3500 \text{ мм.}$$

Расстояние между соседними светильниками определяется по формуле:

$$L = h\rho \cdot \lambda, \text{ м.} \quad (2)$$

По условию (2):

$$L = 3500 \cdot 1,6 = 5600 \text{ мм.}$$

Выбирается светильник марки ЛПО28.

Расстояние между стенкой и крайними светильниками рекомендуется брать  $0,5\lambda$ .

Необходимое число светильников в ряду  $N_a$  определяется по формуле:

$$N_a = \frac{a}{L}, \text{ шт.}, \quad (3)$$

где  $a, b$  – длина и ширина помещения.

По условию (3):

$$N_a = \frac{18,0}{5,6} = 4 \text{ шт.}$$

Необходимое число рядов светильников  $N_b$  определяется по формуле:

$$N_b = \frac{b}{L}, \text{ шт.}, \quad (4)$$

где  $a, b$  – длина и ширина помещения.

По условию (4):

$$Nb = \frac{24}{5,6} = 5 \text{ шт.}$$

Необходимый световой поток осветительной установки определится исходя из условия, что в любой точке освещаемой поверхности освещенность должна быть не ниже нормированной, даже в конце срока службы источника света.

Приводится план помещения машинного зала (основного).

План помещения машинного зала (основного) с выбранным расположением источников освещения, представлен на рисунке 4.

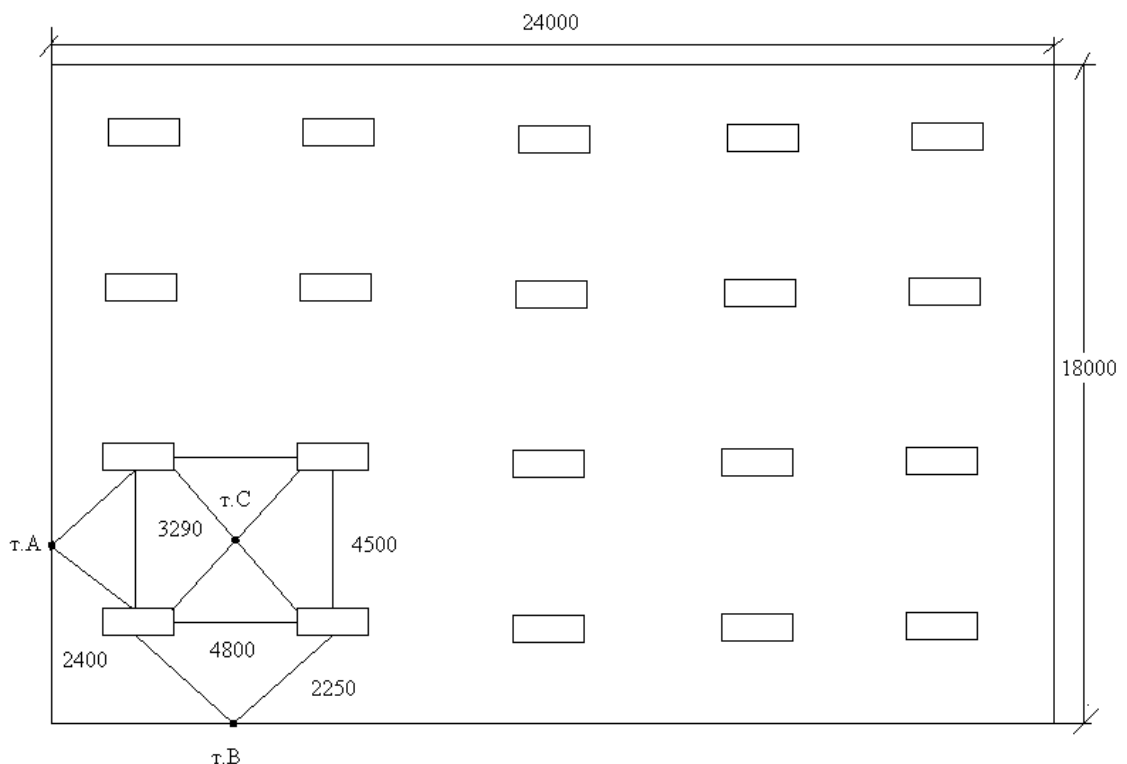


Рисунок 4 – План помещения машинного зала (основного) с выбранным расположением источников освещения

Для прямого расчета, определяется поток лампы, приняв освещенность помещения машинного зала (основного)  $E_k$  нормированному минимальному значению  $E_{min} = 200$  лк.

При этом:

$$F_{л} = \frac{1000 \cdot E_{\min} \cdot k}{\mu \cdot \sum_{i=1}^{i=n} e_i}, \quad (5)$$

где  $k$  – коэффициент запаса ( $k = 1,5$ );

$\mu$  – коэффициент добавочной освещенности ( $\mu = 1,1$ );

$\sum_{i=1}^{i=n} e_i$  - суммарная условная освещенность расчетной точки.

Суммарная условная освещенность в рассчитываемой точке может быть определена по кривым пространственных изолюкс:

$$\sum_{i=1}^4 e_A = 12 \cdot 2 + 2,1 \cdot 2 = 28,1 \text{лк},$$

$$\sum_{i=1}^4 e_B = 13 \cdot 2 + 3,5 \cdot 2 = 31 \text{лк},$$

$$\sum_{i=1}^4 e_C = 4 \cdot 7,2 = 28,8 \text{лк}.$$

Выбирается точка с наименьшей условной освещенностью (в данном случае это точка А) и определяется световой поток, который будет в данной точке по условию (5):

$$F_a = \frac{1000 \cdot 200 \cdot 1,5}{1,1 \cdot 28,1} = 9705 \text{лм}.$$

По световому потоку из справочных таблиц выбирается ближайшая стандартная лампа, световой поток которой отличается от расчетного не более чем на минус 10 или +20% и определяют её мощность, в светильнике будет две люминесцентные лампы, то расчётный световой поток от одной лампы ЛЛ



равен  $F_{л} = 9705/2 = 4852,5$  лм, выбирается стандартный тип лампы ЛБ65-1 с параметрами:  $U_{р} = 110В$ ;  $P_{л} = 65Вт$ ;  $F_{л} = 4800лм$ .

Поверочный расчет методом коэффициента использования светового потока. Подставляется в формулу нахождения освещенности световой поток выбранной лампы.

Проверка проводится по условию:

$$FE = \frac{F_{л} \cdot n \cdot \eta}{z \cdot A \cdot k}, \text{ лк}, \quad (6)$$

где  $z$  – коэффициент минимальной освещенности ( $z = 1,15$ );

$A$  – площадь освещаемой поверхности ( $A = 432\text{м}^2$ );

$\eta$  – коэффициент использования светового потока ( $\eta = 0,78$ ).

По условию (6):

$$FE = \frac{4800 \cdot 2 \cdot 20 \cdot 0.78}{1,15 \cdot 432 \cdot 1,5} = 202,3 \text{ лк}.$$

Отклонение светового потока:

$$\Delta E = \frac{E_{ф} - E_{\min}}{E_{\min}}, \%, \quad (7)$$

где  $E_{ф}$  – величина фактической освещенности, лк.

По условию (7):

$$\Delta E = \frac{202,3 - 200}{200} = +1,15\%.$$

Если  $\Delta E < 20\%$ , то осветительная установка выбрана правильно.

Поскольку количество работников, одновременно могущих находиться в здании насосной станции, не превышает пять человек (постоянный обслуживающий персонал – пять человек в каждой смене), то необходимость в эвакуационном аварийном освещении отсутствует.

Далее проводится расчёт освещения склада запасных частей и оборудования подающей насосной станции АО «ТЕВИС» (18,0×12,0м).

Для расчёта данного объекта применяется метод коэффициента использования светового потока. Выбирается светильник марки ЛПО28.

Проводится расчет общего освещения объекта.

Расчетная высота:

$$h_p = h - h_c - h_r. \quad (8)$$

По условию (8):

$$h_p = 4000 - 500 = 3500 \text{ мм.}$$

Расстояние между светильниками:

$$L = h_p \cdot \lambda. \quad (9)$$

По условию (9):

$$L = 3500 \cdot 1,6 = 5600 \text{ мм.}$$

Число светильников в ряду:

$$Na = \frac{a}{L}, \text{шт.} \quad (10)$$

По условию (10):

$$Na = \frac{18,0}{5,6} = 4 \text{ шт.}$$

Число рядов светильников:

$$Nb = \frac{b}{L}, \text{ шт.} \quad (11)$$

По условию (11):

$$Nb = \frac{12,0}{5,6} = 2 \text{ шт.}$$

При прямом расчете находят световой поток лампы, которую необходимо установить в светильник, чтобы на расчетной поверхности была создана освещенность не ниже нормированной  $E_{min}$ :

$$F_{л} = \frac{E_{min} \cdot A \cdot z \cdot k}{n \cdot \eta}, \text{ лм.} \quad (12)$$

По условию (12):

$$F_{л} = \frac{100 \cdot 216 \cdot 1,15 \cdot 1,5}{8 \cdot 0,89} = 5233 \text{ лм.}$$

Входящий в формулу коэффициент использования светового потока выбирают по справочным таблицам в зависимости от типа светильника, его КПД и характера светораспределения, коэффициента отражения потолка, стен и рабочей поверхности, от размеров и формы помещения, которые учитываются индексом помещения:

$$i = \frac{a \cdot b}{hp \cdot (a + b)}. \quad (13)$$

По условию (13):

$$i = \frac{216}{3,5 \cdot (18 + 12)} = 2,05.$$

По справочным таблицам подбирается ближайшая стандартная лампа, световой поток которой отличается от расчетного не более чем на минус 10...+20%.

Тип лампы ЛД80-1:  $U_p = 220$  В;  $P_l = 80$  Вт;  $F_l = 5400$  лм.

Поверочный расчет:

$$E = \frac{F_l \cdot n \cdot \eta}{z \cdot A \cdot k}, \text{ лк.} \quad (14)$$

По условию (14):

$$E = \frac{5400 \cdot 8 \cdot 0,89}{1,15 \cdot 216 \cdot 1,5} = 103,1 \text{ лк.}$$

Поверочный расчет по освещённости выполняется:

$$\Delta E = \frac{103,1 - 100}{100} = +3,1\%.$$

Т.к.  $\Delta E < +20\%$ , то осветительная установка выбрана правильно.

Расчет аэраторной проводится методом удельной мощности (размеры помещения  $18,0 \times 6,0$  м). Выбирается светодиодный светильник марки НПО 3231Д. Расчетная высота:

$$hp = h - hc - hp, \text{ м.} \quad (15)$$

По условию (15):

$$hp = 4000 - 500 - 0 = 3500 \text{ мм.}$$

Расстояние между светильниками:

$$L = hp \cdot \lambda, \text{ мм.} \quad (16)$$

По условию (16):

$$L = 3500 \cdot 1,6 = 5600 \text{ мм.}$$

Число светильников в ряду:

$$Na = \frac{a}{L}, \text{ шт.} \quad (17)$$

По условию (17):

$$Na = \frac{18,0}{5,6} = 4 \text{ шт.}$$

Число рядов светильников:

$$Nb = \frac{b}{L}, \text{ шт.} \quad (18)$$

По условию (18):

$$Nb = \frac{6}{5,6} = 1 \text{ шт.}$$

Способ разработан на основе метода коэффициента использования светового потока, дает более простое решение задачи, но и менее точное.

В его основе лежит формула:

$$P_{л} = \frac{P_{уд} \cdot A}{n}, \text{ Вт.} \quad (19)$$

где  $P_{л}$  – мощность лампы, Вт;

$P_{уд}$  – удельная мощность, Вт/м<sup>2</sup> ( $P_{уд}=4,1$  Вт/м<sup>2</sup>)

$A$  – площадь помещения ( $A=108$  м<sup>2</sup>).

По условию (19):

$$P_{л} = \frac{4,1 \cdot 108}{4} = 110,7 \text{ Вт.}$$

Удельная мощность осветительной установки служит функцией переменных: нормированной освещенности, коэффициента использования светового потока, типа и размещения светильников, размеров помещения, коэффициента отражения его поверхностей. Находится по справочной литературе. По справочным данным подбирают ближайшую стандартную лампу и по её мощности окончательно рассчитывают мощность всей осветительной установки. Тип лампы: Philips Stan 75W:  $U_p = 220\text{В}$ ;  $P_{л} = 75\text{Вт}$ ;  $F_{л} = 1030\text{лм}$ .

Проверочный расчет точечным методом:

$$E = \frac{F_{л}}{1000} \cdot \frac{k}{\mu} \cdot \sum_{i=1}^{i=n} e, \text{ лк.} \quad (20)$$

По условию (20):

$$E = \frac{1030 \cdot 1,3 \cdot 26,8}{1000 \cdot 1,1} = 32,7 \text{ лк.}$$

Отклонение светового потока находится в допустимых пределах:

$$\Delta E = \frac{32,7 - 30}{30} = +9,0 \%$$

$\Delta E < +20\%$ , следовательно, осветительная установка выбрана правильно.

Далее в работе проводится расчет наружного освещения подающей насосной станции АО «ТЕВИС».

Наружное освещение устанавливают для создания необходимых условий видения перед входом здания, на дорогах, на площадках и охраняемых участках.

Освещение входов в здания рассчитывают точечным методом по контрольной точке на углу входной площадки.

Принимается уличный светильник марки ST-C05-60W LEDSTER.

Расчетная высота  $h_p = 2,34$  м:

$$\sum_{i=1}^{i=n} e = 4,5$$
$$F_{л} = \frac{1000 \cdot 2,5 \cdot 1,3}{1,075 \cdot 4,5} = 671,8 \text{ лм}$$

Тип лампы (встроенная):  $P_{л} = 60$  Вт;  $U_{л} = 220$  В;  $F_{л} = 715$  лм.

Результаты расчетов по всем помещениям сводятся в таблицу 5.

Таблица 5 – Выбор расчётных коэффициентов сети освещения помещений подающей насосной станции АО «ТЕВИС»

Наименование	Характеристика помещения						Класс и подкласс, разряд и под-разряд работ	Норма освещенности	Коэффициент запаса	Светильник		Лампа		Удельная мощность осветительной нагрузки
	Площадь, м <sup>2</sup>	Высота, м	Класс по среде	Коэффициент отражения						тип	число	тип	мощность, Вт	
Машинный зал основной	226,6	4,0	Сырая	50	30	10	IV-V	200	1,5	ЛПО28 2x65	20	ЛБ65- 1	65	8,33
Машинный зал малый	108,1	4,0	Сырая	50	30	10	IV-V	200	1,5	ЛПО28 2x65	9	ЛБ65- 1	65	12,5
Фильтрационная	108,5	4,0	Сырая	50	30	10	IV-V	300	1,5	ЛПО28 2x80	1	ЛД80	80	32,5
Склад запасных частей и оборудования	135,5	4,0	Нормальная	50	30	10	IV-V	50	1,3	НПО 3231Д	9	Philips Stan 75W	75	7,2
Помещение для хранения технических масел	50,0	4,0	Нормальная	50	30	10	IV-V	50	1,3	НПО 3231Д	3	Philips Stan 75W	100	4,61
Механический участок	49,2	4,0	Пыльная	50	30	10	IV-V	100	1,5	ЛПО28 80	12	ЛД80 -1	80	4,59
Аэрационная	16,7	4,0	Сырая	50	30	10	IV-V	30	1,3	НПО 3231Д	12	Philips Stan 75W	60	3,36
Помещение для хранения химических реагентов	22,9	4,0	Нормальная	50	30	10	IV-V	30	1,3	НПО 3231Д	4	Philips Stan 75W	75	2,82
Навес над технической площадкой	5,6	4,0	Сырая	50	30	10	IV-V	30	1,3	НПО 3231Д	14	Philips Stan 75W	60	3,4



Продолжение таблицы 5

Характеристика помещения							Класс и подкласс, разряд и подразряд работ	Норма освещенности	Коэффициент запаса	Светильник		Лампа		Удельная мощность осветительной нагрузки
Наименование	Площадь м <sup>2</sup>	Высота, м	Класс по среде	Коэффициент отражения						тип	число	тип	мощность, Вт	
				стен	потолок	пола								
Компрессорная	7,2	4,0	Жаркая	50	30	10	IV-V	150	1,5	ЛПО2865	4	ЛД65	65	40,85
Бытовые и служебно-вспомогательные помещения	22,8	4,0	Наружная, сырая	50	30	10	IV-V	150	1,5	ЛПО2040	12	ЛДЦ40	40	36,4
Наружная площадка	8,5	2,34	Наружная, сырая	-	-	-	IV-V	5	1,3	ST-C05-60W LEDSTER	8	встроенная	60	-

## 2.4 Электротехнический расчёт помещений подающей насосной станции АО «ТЕВИС»

Далее в работе проводится электротехнический расчёт помещений подающей насосной станции АО «ТЕВИС».

Составляется расчётная схема рабочего освещения осветительной сети (рисунок 5).

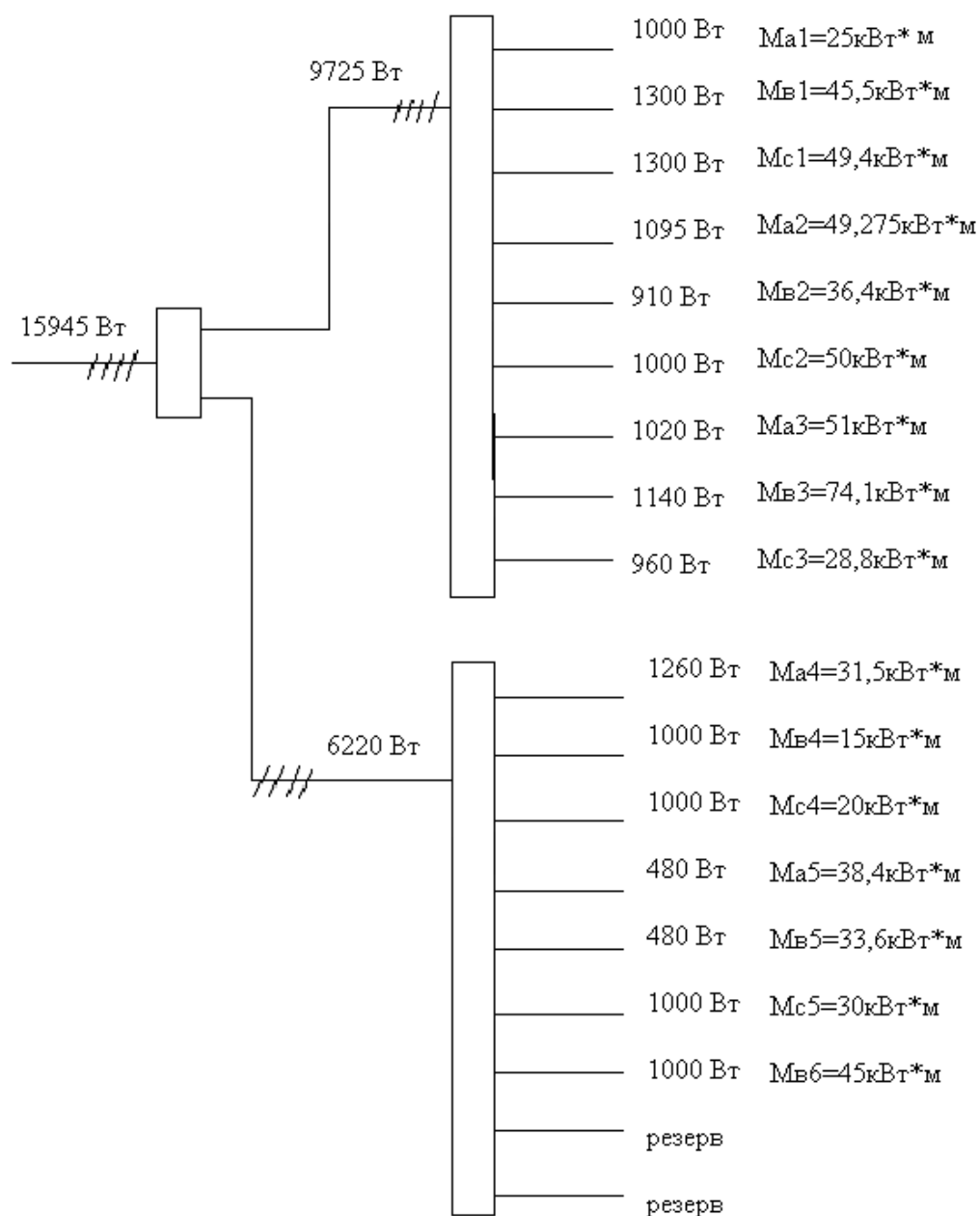


Рисунок 5 – Расчётная схема осветительной сети рабочего освещения

Проводится расчет площади сечения проводов и осветительной сети подающей насосной станции АО «ТЕВИС».

Расчет электрических моментов нагрузок освещения [3], [4]:

$$M_i = \sum_{i=1}^{i=n} P \cdot \sum_{i=1}^{i=n} l, \text{кВт}\cdot\text{м}. \quad (21)$$

По условию (21) для участков осветительной сети рабочего освещения насосной станции на участке сети 1-3:

$$M_{A1} = 25 \cdot 1,0 = 25 \text{ кВт}\cdot\text{м}.$$

$$M_{B1} = 35 \cdot 1,3 = 45,5 \text{ кВт}\cdot\text{м}.$$

$$M_{C1} = 38 \cdot 1,3 = 49,4 \text{ кВт}\cdot\text{м}.$$

$$M_{A2} = 45 \cdot 1,095 = 49,275 \text{ кВт}\cdot\text{м}.$$

$$M_{B2} = 40 \cdot 0,91 = 36,4 \text{ кВт}\cdot\text{м}.$$

$$M_{C2} = 50 \cdot 1,0 = 50 \text{ кВт}\cdot\text{м}.$$

$$M_{A3} = 50 \cdot 1,02 = 51 \text{ кВт}\cdot\text{м}.$$

$$M_{B3} = 65 \cdot 1,14 = 74,1 \text{ кВт}\cdot\text{м}.$$

$$M_{C2} = 30 \cdot 0,96 = 28,8 \text{ кВт}\cdot\text{м}.$$

Результирующий момент на участке 3:

$$m3 = 25 + 45,5 + 49,4 + 49,275 + 36,4 + 50 + 51 + 74,1 + 28,8 = 409,475 \text{ кВт}\cdot\text{м}.$$

По условию (21) для участков осветительной сети рабочего освещения насосной станции на участке сети 4-6:

$$M_{A4} = 25 \cdot 1,26 = 31,5 \text{ кВт}\cdot\text{м}.$$

$$M_{B4} = 15 \cdot 1,0 = 15 \text{ кВт}\cdot\text{м}.$$

$$M_{C4} = 20 \cdot 1,0 = 20 \text{ кВт}\cdot\text{м}.$$

$$M_{A5} = 80 \cdot 0,48 = 38,4 \text{ кВт}\cdot\text{м}.$$

$$M_{B5} = 70 \cdot 0,48 = 33,6 \text{ кВт}\cdot\text{м}.$$

$$M_{C5} = 30 \cdot 1,0 = 30 \text{ кВт}\cdot\text{м}.$$

$$M_{B6} = 45 \cdot 1,0 = 45 \text{ кВт}\cdot\text{м}.$$

Результирующий момент на участке 5:

$$m_5 = 31,5 + 15 + 20 + 38,4 + 33,6 + 30 + 45 = 213,5 \text{ кВт}\cdot\text{м}$$

Результирующие моменты нагрузки осветительной сети насосной станции:

$$M_1 = 20 \cdot 15,945 = 318,9 \text{ кВт}\cdot\text{м}.$$

$$M_2 = 5 \cdot 9,725 = 48,625 \text{ кВт}\cdot\text{м}.$$

$$M_3 = 15 \cdot 6,22 = 93,3 \text{ кВт}\cdot\text{м}.$$

Расчет и выбор сечения проводников осветительной сети обеспечивают: отклонение напряжения у источников света в допустимых пределах; нагрев проводов не выше допустимой температуры; достаточную механическую прочность проводов.

Определяется площадь сечения проводника первого участка схемы осветительной сети насосной станции:

$$S_1' = \frac{\sum_{i=1}^3 M_i + \sum_{j=1}^5 \alpha_j \cdot m_j}{c \cdot \Delta U \%}, \quad (22)$$

где  $\sum_{i=1}^3 Mi$  - сумма моментов расчетного и всех последующих участков с

тем же числом проводов, кВт·м (четырёхпроводная сеть);

$\sum_{j=1}^5 \alpha_j \cdot mj$  - сумма приведенных моментов всех последующих

ответвлений с числом проводов, отличным от рассчитываемого участка, кВт·м (трехпроводная сеть);

$\alpha$  – коэффициент приведения моментов, зависящий от числа проводов рассчитываемого участка и участков ответвлений ( $\alpha = 1,85$ );

$c$  – коэффициент, зависящий от числа проводов и материала жил кабеля.

По условию (22):

$$S_1' = \frac{318,9 + 48,625 + 93,3 + 1,85 \cdot (409,475 + 213,5)}{2,5 \cdot 77} = 7,43 \text{ мм}^2.$$

Принимается ближайшее значение стандартной площади сечения на первом участке  $S1=16 \text{ мм}^2$ , кабель марки ВВГ.

Это сечение проверяется на нагрев по длительно допустимому току нормального режима:

$$I = \frac{P1}{3 \cdot U\phi}, A, \quad (23)$$

где  $P1$  – мощность всей осветительной нагрузки, Вт ( $P1 = 15945$  Вт);

$U\phi$  – фазное напряжение сети, В ( $U\phi = 220$ В).

По условию (23):

$$I = \frac{15945}{3 \cdot 220} = 24,15 \text{ A.}$$

Для выбранного сечения  $I_{\text{доп}} = 80$ , таким образом, проверка условия выполняется ( $80 \text{ A} \geq 24,15 \text{ A}$ ).

Минимальная площадь сечения по механической прочности равна  $6 \text{ мм}^2$ . Следовательно, сечение выбранного кабеля  $S1 = 16 \text{ мм}^2$  удовлетворяет всем условиям выбора.

Выбранное сечение кабеля необходимо проверить также по условиям допустимой потери напряжения в осветительной сети.

Фактическая потеря напряжения на первом участке:

$$\Delta U_1 = \frac{\Delta P_1}{M1 + m1} \cdot 100, \% \quad (24)$$

По условию (24):

$$\Delta U_1 = \frac{318,9}{16 \cdot 77} \cdot 100 = 0,26\%.$$

Допустимая потеря напряжения в оставшейся сети освещения насосной станции:

$$\Delta U_2' = \Delta U_4' = \Delta U - \Delta U_1. \quad (25)$$

По условию (25):

$$\Delta U_2' = \Delta U_4' = 2,5 - 0,26 = 2,24 \%.$$

Площадь сечения проводников на втором участке [15]:

$$S_2' = \frac{M_2 + \alpha \cdot m_3}{\Delta U_2' \cdot c}, \text{мм}^2. \quad (26)$$

По условию (26):

$$S_2' = \frac{48,625 + 1,85 \cdot 409,475}{2,24 \cdot 77} = 4,67 \text{мм}^2.$$

Принимается стандартное сечение  $S_2 = 10 \text{ мм}^2$  кабель марки ВВГ с предельно-допустимым током нормального режима 50А.

Расчётный ток кабеля при условии прокладки в осветительной сети насосной станции:

$$I = \frac{9725}{3 \cdot 220} = 14,73 \text{А}.$$

Условие соблюдается и выбранное сечение кабеля подходит по всем условиям:

$$14,73 \text{А} \leq 50 \text{А}.$$

Потери напряжения на втором участке:

$$\Delta U_2 = \frac{\Delta P_2}{M_2 + m_2} \cdot 100, \%. \quad (27)$$

По условию (27):

$$\Delta U_2 = \frac{48,625}{10 \cdot 77} \cdot 100 = 0,06 \%$$

Допустимая потеря напряжения на третьем участке:

$$\Delta U_3' = \Delta U - \Delta U_1, \% \quad (28)$$

По условию (28):

$$\Delta U_3' = 2,24 - 0,06 = 2,18\%$$

Площадь сечения проводников кабельных линий на третьем расчётном участке осветительной сети насосной станции определяется по рассчитанным ранее моментам с учётом расположения в схеме.

Далее проводится расчёт и выбор проводников распределительной сети системы освещения насосной станции, исходя из расчётной схемы.

$$S_{3A1}' = \frac{M_{A1}}{\Delta U_3' \cdot c}, \text{ мм}^2 \quad (29)$$

По условию (29):

$$S_{3A1}' = \frac{25}{2,18 \cdot 12,5} = 0,92 \text{ мм}^2$$

Выбирается провод марки ППВ-3 (1×2,5).

Аналогично для остальных участков распределительной осветительной сети:



$$S'_{3B1} = \frac{M_{B1}}{\Delta U_3 \cdot c}, \text{мм}^2. \quad (30)$$

По условию (30):

$$S'_{3B1} = \frac{45,5}{2,18 \cdot 12,5} = 1,66 \text{ мм}^2.$$

Выбирается провод марки ППВ-3 (1×2,5).

$$S'_{3C1} = \frac{M_{C1}}{\Delta U_3 \cdot c}, \text{мм}^2. \quad (31)$$

По условию (31):

$$S'_{3C1} = \frac{49,4}{2,18 \cdot 12,5} = 1,81 \text{ мм}^2.$$

Выбирается провод марки ППВ-3 (1×2,5).

$$S'_{3A2} = \frac{M_{A2}}{\Delta U_3 \cdot c}, \text{мм}^2. \quad (32)$$

По условию (32):

$$S'_{3A2} = \frac{49,275}{2,18 \cdot 12,5} = 1,80 \text{ мм}^2.$$

Выбирается провод марки ППВ-3 (1×2,5).

$$S'_{3B2} = \frac{M_{B2}}{\Delta U'_3 \cdot c}, \text{мм}^2. \quad (33)$$

По условию (33):

$$S'_{3B2} = \frac{36,4}{2,18 \cdot 12,5} = 1,33 \text{мм}^2.$$

Выбирается провод марки ППВ-3 (1×2,5).

$$S'_{3C2} = \frac{M_{C2}}{\Delta U'_3 \cdot c}, \text{мм}^2. \quad (34)$$

По условию (34):

$$S'_{3C2} = \frac{50}{2,18 \cdot 12,5} = 1,83 \text{мм}^2.$$

Выбирается провод марки ППВ-3 (1×2,5).

$$S'_{3A3} = \frac{M_{A3}}{\Delta U'_3 \cdot c}, \text{мм}^2. \quad (35)$$

По условию (35):

$$S'_{3A3} = \frac{51}{2,18 \cdot 12,5} = 1,87 \text{мм}^2.$$

Выбирается провод марки ППВ-3 (1×2,5).

$$S'_{3B3} = \frac{M_{B3}}{\Delta U'_3 \cdot c}, \text{мм}^2. \quad (36)$$

По условию (36):

$$S'_{3B3} = \frac{74,1}{2,18 \cdot 12,5} = 2,71 \text{мм}^2.$$

Выбирается провод марки ППВ-3 (1×2,5).

$$S'_{3C3} = \frac{M_{C3}}{\Delta U'_3 \cdot c}, \text{мм}^2. \quad (37)$$

По условию (37):

$$S'_{3C3} = \frac{28,8}{2,18 \cdot 12,5} = 1,05 \text{мм}^2.$$

Выбирается провод марки ППВ-3 (1×2,5).

Расчётный ток на участке 2:

$$I_2 = \frac{1300}{220} = 5,91 \text{А}.$$

$I_{доп} = 19 \text{ А}$  больше расчётного значения, следовательно, условия выбора соблюдены.

Потери напряжения на участках соответствуют предельно-допустимым значениям [1]:

$$\Delta U_{3A1} = \frac{25}{2,5 \cdot 12,5} = 0,80\%.$$

$$\Delta U_{3B1} = \frac{45,5}{2,5 \cdot 12,5} = 1,45\%.$$

$$\Delta U_{3C1} = \frac{49,4}{2,5 \cdot 12,5} = 1,58\%.$$

$$\Delta U_{3A2} = \frac{49,275}{2,5 \cdot 12,5} = 1,57\%.$$

$$\Delta U_{3B2} = \frac{36,4}{2,5 \cdot 12,5} = 1,16\%.$$

$$\Delta U_{3C2} = \frac{50}{2,5 \cdot 12,5} = 1,60\%.$$

$$\Delta U_{3A3} = \frac{51}{2,5 \cdot 12,5} = 1,63\%.$$

$$\Delta U_{3B3} = \frac{74,1}{4 \cdot 12,5} = 1,48\%.$$

$$\Delta U_{3C3} = \frac{28,8}{2,5 \cdot 12,5} = 0,92\%.$$

Площадь сечения на 4-ом участке:

$$S_4' = \frac{M3 + \alpha \cdot m5}{\Delta U_2' \cdot c}, \text{мм}^2. \quad (38)$$

По условию (38):

$$S_4' = \frac{93,3 + 1,85 \cdot 213,5}{2,24 \cdot 77} = 2,83 \text{мм}^2.$$

Принимается стандартное сечение  $S4 = 6 \text{мм}^2$  кабеля марки ВВГ.

Ток на данном участке:

$$I = \frac{6220}{3 \cdot 220} = 9,42 A$$

$I_{доп} = 30 A$ , следовательно, условие соблюдается и выбранное сечение подходит по всем условиям.

Потери напряжения на четвертом участке:

$$\Delta U_4 = \frac{93,3}{6 \cdot 77} = 0,20\%$$

Допустимая потеря напряжения на пятом участке:

$$\Delta U_5' = \Delta U - \Delta U_4, \%. \quad (39)$$

По условию (39):

$$\Delta U_5' = 2,24 - 0,20 = 2,04 \%$$

Площадь сечения проводников на участках 4-6 выбирается в работе далее.

$$S_{5A4}' = \frac{M_{A4}}{\Delta U_5' \cdot c}, \text{ мм}^2. \quad (40)$$

По условию (40):

$$S_{5A4}' = \frac{31,5}{2,04 \cdot 12,5} = 1,23 \text{ мм}^2.$$

Выбирается провод марки ППВ-3 (1×2,5).

$$S'_{5B4} = \frac{M_{B4}}{\Delta U'_5 \cdot c}, \text{мм}^2. \quad (41)$$

По условию (41):

$$S'_{5B4} = \frac{15}{2,04 \cdot 12,5} = 0,58 \text{мм}^2.$$

Выбирается провод марки ППВ-3 (1×2,5).

$$S'_{5C4} = \frac{M_{C4}}{\Delta U'_5 \cdot c}, \text{мм}^2. \quad (42)$$

По условию (42):

$$S'_{5C4} = \frac{20}{2,04 \cdot 12,5} = 0,78 \text{мм}^2.$$

Выбирается провод марки ППВ-3 (1×2,5).

$$S'_{5A5} = \frac{M_{A5}}{\Delta U'_5 \cdot c}, \text{мм}^2. \quad (43)$$

По условию (43):

$$S'_{5A5} = \frac{38,4}{2,04 \cdot 12,5} = 1,51 \text{мм}^2.$$

Выбирается провод марки ППВ-3 (1×2,5).

$$S'_{5B5} = \frac{M_{B5}}{\Delta U_5 \cdot c}, \text{мм}^2. \quad (44)$$

По условию (44):

$$S'_{5B5} = \frac{33,6}{2,04 \cdot 12,5} = 1,31 \text{мм}^2.$$

Выбирается провод марки ППВ-3 (1×2,5).

$$S'_{5C5} = \frac{M_{C5}}{\Delta U_5 \cdot c}, \text{мм}^2. \quad (45)$$

По условию (45):

$$S'_{5C5} = \frac{30}{2,04 \cdot 12,5} = 1,17 \text{мм}^2.$$

Выбирается провод марки ППВ-3 (1×2,5).

$$S'_{5B6} = \frac{M_{B6}}{\Delta U_5 \cdot c}, \text{мм}^2. \quad (46)$$

По условию (46):

$$S'_{5B6} = \frac{45}{2,04 \cdot 12,5} = 1,76 \text{мм}^2.$$

Выбирается провод марки ППВ-3 (1×2,5).

Расчётный ток на участке 1:

$$I_1 = \frac{1260}{220} = 5,72 \text{ А.}$$

$I_{доп} = 19 \text{ А}$ , больше расчётного значения, следовательно, условия выбора соблюдены.

Потери напряжения на участке 4-6:

$$\Delta U_{5A4} = \frac{31,5}{2,5 \cdot 12,5} = 1,01\%.$$

$$\Delta U_{5B4} = \frac{15}{2,5 \cdot 12,5} = 0,48\%.$$

$$\Delta U_{5C4} = \frac{20}{2,5 \cdot 12,5} = 0,64\%.$$

$$\Delta U_{5A5} = \frac{38,4}{2,5 \cdot 12,5} = 1,22\%.$$

$$\Delta U_{5B5} = \frac{33,6}{2,5 \cdot 12,5} = 1,07\%.$$

$$\Delta U_{5C5} = \frac{30}{2,5 \cdot 12,5} = 0,96\%.$$

$$\Delta U_{5B6} = \frac{45}{2,5 \cdot 12,5} = 1,44\%.$$

Все выбранные проводники питающей и распределительной сети удовлетворяют условиям выбора.

Они показаны в графической части работы.

Далее проводится выбор щитков, коммутационной и защитной аппаратуры.

Осветительные щитки выбирают из справочных таблиц по условиям:



- окружающей среды, в которых им предстоит работать;
- конструктивному исполнению в зависимости от схемы сети и числа отходящих групп;
- аппаратуре управления и защиты, установленной в щитке.

В соответствии с вышеперечисленными требованиями, в работе выбираются следующие аппараты защиты к основному оборудованию осветительной сети: вводные щиты МЩРО-1 и МЩРО-2 со встроенными автоматическими выключателями на вводе типа ВА-100 с номинальными токами: автомата – 100 А, теплового расцепителя – 100 А, а также автоматами ВА 51-27 отходящих линий (с номинальными токами: автомата – 32 А, теплового расцепителя – 31,5 А).

Для магистральных щитков освещения, защита от ненормальных режимов осуществляется автоматами с тепловыми или комбинированными нерегулируемыми расцепителями. Выбирается из справочной литературы [18] для всех распределительных линий осветительной сети, автоматические выключатели ВА16-25-14 с номинальными токами: автомата – 6,3 А, теплового расцепителя – 6,3 А.

Таким образом, осветительная сеть окончательно укомплектована и защищена аппаратами защиты.

## **2.5 Монтаж кабельных линий подающей насосной станции АО «ТЕВИС»**

В работе в результате проведения реконструкции системы освещения подающей насосной станции АО «ТЕВИС», принят монтаж кабельных линий на данном объекте с применением лоточных конструкций (монтаж кабелей на лотках).

Для монтажа кабельных линий освещения осветительной сети насосной на лотках, требуется оценка объема работ и количества материалов (кабель,

лотки, крепежные элементы и прочее), также обязательно наличие компонентов оборудования.

Далее следует небольшое количество очистки зоны установки лотков и проверка их готовности к монтажу.

Установка лотков должна быть выполнена в соответствии с проектной документацией, обеспечивающей их надежное крепление и совместимость с выбранным типом кабеля.

После этого необходимо установить крепежные элементы для кабеля в лотках и подключить кабель в лотках, соблюдая все необходимые правила монтажа.

При подключении кабеля к осветительной сети насосной станции необходимо следовать проектной документации, обеспечивать надежную защиту и защиту от внешних воздействий.

После установки всех компонентов системы следует провести тестирование и наладку, чтобы убедиться в ее работоспособности.

После выполнения всех промышленных исследований и промышленных испытаний необходимо выполнить работу, собрать все инструменты и оборудование в безопасном месте, а начать очистку объекта.

Перечень основных отечественных производителей лотков для монтажа кабелей в России:

- ООО «Электромонтаж» – компания, специализирующаяся на производстве металлических лотков для монтажа различных типов и размеров. Они дают широкий выбор продукции и могут работать с индивидуальными заказами;
- ООО «Промэлектрлоток» - компания производитель лотов из металла, соответствующего стали и пластика для монтажа кабельных линий;
- ООО «ТехноЛоток» - компания по производству металлических и пластиковых лотков для монтажа кабельных линий;

- ООО «Лоток.ру» - компания, специализирующаяся на производстве металлических лотков для установки различных типов и размеров кабельных линий.

Для монтажа кабельных линий электрической сети насосной станции, в работе выбираются металлические перфорированные лотки производства ООО «Электромонтаж». Конструкция данных лотков представлена в работе в графической части.

Выводы по разделу.

В соответствии с поставленной целью, для решения поставленных задач по реконструкции схемы освещения подающей насосной станции АО «ТЕВИС», в работе осуществлены следующие изменения исходной схемы осветительной сети:

- проектирование и ввод в эксплуатацию отдельных линий и щитков аварийного освещения (питание – от двух независимых источников) осветительной сети: ламп освещения, а также аппаратов защиты;
- разделение системы наружного и внутреннего освещения объекта на различные линии и щитки осветительной сети: ламп освещения, а также аппаратов защиты;
- внедрение второго ввода от питающей подстанции ТП-6/0,4 кВ осветительной сети: ламп освещения, а также аппаратов защиты;
- выбор нового оборудования осветительной сети: ламп освещения, а также аппаратов защиты;
- внедрение монтажа распределительной сети на лотках.

Все решения проверены на основании рассчитанных электрических нагрузок, а также нормируемых показателей электрического освещения для помещений подающей насосной станции АО «ТЕВИС».

### **3 Разработка автоматизированной системы управления наружным освещением подающей насосной станции АО «ТЕВИС»**

Разработка автоматизированной системы управления наружным освещением подающей насосной станции АО «ТЕВИС» может быть реализована в несколько этапов.

Алгоритм разработки данной системы:

- анализ требований и сбор информации. Необходимо определить требования к системе управления наружным освещением подающей насосной станции, включая количество светильников, тип и мощность ламп, режим работы, условия эксплуатации. Также следует собрать информацию о существующих системах управления, которые могут быть использованы в качестве примера или источника идей;
- проектирование системы. На основе полученных требований и информации можно начать проектирование системы. Необходимо определить компоненты, которые будут использоваться в системе (контроллеры, датчики, светильники), а также разработать алгоритмы управления и программное обеспечение;
- разработка и испытание прототипа. После проектирования системы следует разработать прототип и провести испытания для проверки работоспособности и соответствия требованиям;
- установка и настройка системы. После успешного прохождения испытаний систему следует установить на месте и выполнить настройку, чтобы обеспечить оптимальную работу;
- внедрение и обучение. После установки и настройки системы следует обучить персонал, который будет управлять ею, а также внедрить ее в работу и организовать ее дальнейшее обслуживание.

Каждый из этих этапов может служить основой для разработки автоматизированной системы управления наружным освещением подающей насосной станции.

Выбор марки системы автоматического управления наружным освещением насосной станции будет зависеть от конкретных требований и условий эксплуатации, а также от предпочтений заказчика.

Некоторые из наиболее популярных марок систем управления освещением, которые могут быть подходящими для данного проекта, включают:

- Philips – компания предлагает широкий спектр продуктов для управления наружным освещением, включая контроллеры, датчики движения и системы управления освещением по расписанию.
- OSRAM – компания предлагает системы управления наружным освещением, которые могут быть интегрированы с другими системами управления зданиями и предприятиями.
- ABB – компания специализируется на системах управления освещением и предлагает широкий спектр продуктов, включая контроллеры, датчики движения, диммеры и системы управления освещением по расписанию.
- Siemens – компания предлагает системы управления освещением, которые могут быть интегрированы с другими системами управления зданиями и предприятиями, и могут быть управляемыми с помощью мобильного приложения.
- Schneider Electric – компания предлагает широкий спектр продуктов для управления наружным освещением, включая контроллеры, датчики движения и системы управления освещением по расписанию;
- «Интеграл» – это отечественная компания, которая специализируется на разработке и производстве электронных компонентов и систем автоматизации, таких как контроллеры, датчики, панели управления и т.д. Они также предлагают услуги по интеграции и настройке систем автоматизации под конкретные нужды заказчика.

В работе предлагается применить для решения поставленной задачи на основе САУ «Интеграл-Д».

Преимущество такой системы автоматического управления освещением заключается в простоте, адаптации к отечественным сетям, относительной дешевизне и высокой надёжности.

Схема автоматического управления наружным освещением подающей насосной станции АО «ТЕВИС», реализованная на основе САУ «Интеграл-Д», представлена в работе в графической части.

При этом возможное дальнейшее расширение САУ системы наружного освещения подающей насосной станции АО «ТЕВИС» также реализуется подключением дополнительных групп на резервные выходы Q модуля расширения и внесением соответствующих изменений в программу реле [16].

Выводы по разделу.

Проведён сравнительный анализ систем автоматического управления, современного типа.

Разработана и выбрана система автоматического управления наружным освещением подающей насосной станции АО «ТЕВИС», реализованная на основе САУ «Интеграл-Д», которая обеспечит надёжное и качественное управление наружным освещением объекта проектирования.

## Заключение

В результате выполнения работы, проведена разработка проекта реконструкции системы освещения подающей насосной станции АО «ТЕВИС», обусловленная несоответствием технических характеристик объекта проектирования нормативным показателям и требованиям.

Приведена исходная характеристика технологического процесса подающей насосной станции АО «ТЕВИС», а также характеристика основных помещений объекта проектирования, необходимая для дальнейшего проведения светотехнического расчёта.

Приведены основные требования к системам и схемам освещения насосных станций, к которым относится объект проектирования.

В результате проведения анализа установлено, что в исходной схеме осветительной сети подающей насосной станции АО «ТЕВИС» существуют следующие недоработки, которые необходимо устранить в результате проведения реконструкции:

- полностью отсутствует аварийная система освещения;
- система наружного освещения получает питание от общей системы внутреннего освещения, что не рекомендовано [13], также отсутствует автоматизация сетей наружного освещения;
- для системы освещения используется только один ввод от питающей подстанции ТП-6/0,4 кВ, что противоречит требованиям, предъявляемым к схемам потребителей II категории надёжности положениями и нормами [14];
- применены устаревшие лампы накаливания, а также автоматы питающей и распределительной сети освещения объекта проектирования;
- монтаж осветительных сетей внутренних помещений не рекомендован с применением способа монтажа скобами, который применён на данном объекте.

В соответствии с поставленной целью, для решения поставленных задач по реконструкции схемы освещения подающей насосной станции АО «ТЕВИС», в работе осуществлены следующие изменения исходной схемы осветительной сети:

- проектирование и ввод в эксплуатацию отдельных линий и щитков аварийного освещения (питание – от двух независимых источников) осветительной сети: ламп освещения, а также аппаратов защиты;
- разделение системы наружного и внутреннего освещения объекта на различные линии и щитки осветительной сети: ламп освещения, а также аппаратов защиты;
- внедрение второго ввода от питающей подстанции ТП-6/0,4 кВ осветительной сети: ламп освещения, а также аппаратов защиты;
- выбор нового оборудования осветительной сети: ламп освещения, а также аппаратов защиты;
- внедрение монтажа распределительной сети на лотках.

Проведён сравнительный анализ систем автоматического управления, современного типа.

Разработана и выбрана система автоматического управления наружным освещением подающей насосной станции АО «ТЕВИС», реализованная на основе САУ «Интеграл-Д», которая обеспечит надёжное и качественное управление наружным освещением объекта проектирования.

Все решения в работе проверены на основании рассчитанных электрических нагрузок, а также нормируемых показателей электрического освещения для помещений подающей насосной станции АО «ТЕВИС».



## Список используемых источников

1. Кадомская К.П., Лавров Ю.А. Электрооборудование высокого напряжения нового поколения. Вологда: Инфра-Инженерия, 2018. 343 с.
2. Китунович Ф.Г. Энергетика России. 1920-2020 гг. В 4 томах. М.: Энергия, 2020. 1072 с.
3. Климова Г.Н. Электроэнергетические системы и сети. Энергосбережение. Учебное пособие. М.: Юрайт, 2016. 180 с.
4. Конюхова Е.А. Электроснабжение объектов. М.: Академия, 2020. 320 с.
5. Насосные и перекачивающие станции [Электронный ресурс]: URL: <https://stroy-technics.ru/article/nasosnye-i-perekachivayushchie-stantsii> (дата обращения: 06.04.2023).
6. Неклепаев Б.Н., Крючков И.П. Электрическая часть электростанций и подстанций. Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования: Учеб. пособие для ВУЗов. 5-е издание, перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 2018. 608 с.
7. Никитенко Г.В. Электрооборудование, электротехнологии и электроснабжение. Дипломное проектирование: Учебное пособие. СПб.: Лань, 2018. 316 с.
8. Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей. 4-е изд., перераб. и доп. М: Энергоатомиздат, 2019. 174 с.
9. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. Госэнергонадзор Минэнерго России. М.: ЗАО «Энергосервис», 2019. 324 с.
10. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). М.: Альвис, 2018. 632 с.
11. Рожкова Л.Д. Электрооборудование электрических станций и подстанций: Учебник для студентов учреждений среднего профессионального образования. М.: ИЦ Академия, 2018. 448 с.
12. Свириденко Э.А. Основы электротехники и электроснабжения. М.:

Техноперспектива, 2018. 436 с.

13. Свод правил СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение» (утв. приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ от 7 ноября 2016 г. № 777/пр) [Электронный ресурс]: URL: [https://energy.midural.ru/images/Upload/2017/101/SPEIO\\_07.11.2016\\_777.pdf](https://energy.midural.ru/images/Upload/2017/101/SPEIO_07.11.2016_777.pdf) (дата обращения: 06.04.2023).

14. СП 440.1325800.2018 Проектирование естественного и искусственного освещения. [Электронный ресурс]: URL: <http://docs.cntd.ru/document/554819713> (дата обращения: 06.04.2023).

15. Справочник по проектированию электрических сетей / под ред. Д.Л. Файбисовича. 4-е изд., перераб. и доп. М.: ЭНАС, 2018. 312 с.

16. СТО 56947007- 29.240.30.047-2010. «Рекомендации по применению типовых принципиальных электрических схем распределительных устройств подстанций». [Электронный ресурс]: URL: <https://www.twirpx.com/file/2616342/> (дата обращения: 06.04.2023).

17. Тульчин И.К. Электрические сети жилых и общественных зданий. М.: Энергоатомиздат, 2020. 304 с., ил.

18. Федеральный закон «Об электроэнергетике» от 26.03.2003 № 35-ФЗ об энергосбережении [Электронный ресурс]: URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_41502/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_41502/) (дата обращения: 06.04.2023).

19. Федеральный закон от 23.11.2009 № 261-ФЗ (ред. от 29.07.2017) «Об энергосбережении, повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».

20. Цигельман И.Е. Электроснабжение гражданских зданий и коммунальных предприятий: 3-е изд., испр. и доп. М.: Высш. шк. 2018. 319 с.: ил.