

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 электроснабжения птицефабрики  
ПАО «Боровский» Тюменского района Тюменской области с разработкой  
мероприятий по экономии электрической энергии

Обучающийся

И. С. Тараскин

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

д.т.н., доц. А.А. Кувшинов

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

## Аннотация

Работа посвящена реконструкции системы электроснабжения птицефабрики ПАО «Боровский» Тюменского района Тюменской области в связи с вводом в эксплуатацию нового технологического оборудования, а также других потребителей, являющиеся нагрузкой на данном объекте. Кроме того, реконструкция объекта также обуславливается несоответствием схемы электрических соединений установленным нормам и требованиям основных нормативных документов.

Осуществлён анализ характеристик потребителей системы электроснабжения птицефабрики ПАО «Боровский» Тюменского района Тюменской области, а также схемы электрических соединений и оборудования распределительных устройств на питающей подстанции объекта, на основе чего установлены проблемы и предложены пути их решения. На основе расчётных значений электрических нагрузок потребителей и результатов анализа современных разработок и инновационных решений в сфере оборудования, в системе электроснабжения птицефабрики ПАО «Боровский» Тюменского района Тюменской области, проведены выбор и проверка проводников электрических сетей, а также электрических и коммутационных аппаратов.

Расчётным путём установлено, что выбранное современное оборудование соответствует условиям всех проверок и может быть установлено в системе электроснабжения объекта.

Также в работе осуществлена разработка системы автоматического управления микроклиматом системы электроснабжения птицефабрики ПАО «Боровский» Тюменского района Тюменской области.

Предложенные в работе практические мероприятия по реконструкции системы электроснабжения птицефабрики, позволят значительно повысить показатели надёжности, безопасности и экономичности объекта.

## Содержание

Введение.....	4
1 Характеристика системы электроснабжения птицефабрики .....	7
1.1 Исходная характеристика птицефабрики .....	7
1.2 Технологический процесс на птицефабрике .....	9
2 Расчётная часть.....	134
2.1 Проектирование электрического освещения птицефабрики.....	134
2.2 Определение расчётных электрических нагрузок .....	245
2.3 Выбор аппаратуры управления и защиты .....	324
2.4 Выбор и проверка сечения проводников силовой сети .....	368
2.5 Разработка мероприятий по монтажу, эксплуатации и ремонту оборудования .....	402
3 Разработка системы автоматического управления микроклиматом .....	479
3.1 Разработка и описание элементов системы управления микроклиматом.....	479
3.2 Разработка и описание электрической схемы системы управления микроклиматом.....	502
3.3 Расчет экономической эффективности разработанной системы управления микроклиматом.....	524
Заключение .....	657
Список используемых источников.....	70

## Введение

Известно, что птицефабрики являются составной частью животноводческого комплекса, обеспечивая технологический процесс получения куриного мяса, перьев и яиц.

Птицефабрики, как и все предприятия животноводческого комплекса современного типа, требуют автоматизации на всех уровнях и звеньях производственного цикла.

Автоматизация птицефабрик обеспечивает значительный прирост поголовья птиц, а также их стабильное развитие.

Одна из таких типичных птицефабрик, требующая решение данной проблемы, детально рассматривается в работе.

Этим также обуславливается актуальность данной работы, в которой также разрабатывается и внедряется система автоматизации одного из важнейших производственных компонентов – системы управления микроклиматом.

Основной целью работы является реконструкция птицефабрики ПАО «Боровский» Тюменского района Тюменской области, обусловленная внесением изменений в исходную электрическую схему подстанции путём подключения дополнительных потребителей в связи с реконструкцией технологического парка, и введением в эксплуатацию новых потребителей.

Такие мероприятия по реконструкции обязательно должны быть согласованы для питания потребителей I и II категории надёжности, к которым относятся данные потребители.

Объектом исследования в данной работе является система электроснабжения птицефабрики ПАО «Боровский» Тюменского района Тюменской области.

Предметом исследования выступает электрическая принципиальная схема системы электроснабжения птицефабрики ПАО «Боровский» Тюменского района Тюменской области (схема главных электрических

соединений), а также составные части этой схемы, к которой относятся электрические сети, аппараты и силовое и осветительное оборудование.

Актуальность работы обусловлена необходимостью реконструкции и модернизации систем электроснабжения животноводческих предприятий всех типов, а также автоматизацией всех технологических процессов на данных объектах.

Осуществлён анализ характеристик потребителей системы электроснабжения птицефабрики ПАО «Боровский» Тюменского района Тюменской области, а также схемы электрических соединений и оборудования распределительных устройств на питающей подстанции объекта, на основе чего установлены проблемы и предложены пути их решения.

На основе расчётных значений электрических нагрузок потребителей и результатов анализа современных разработок и инновационных решений в сфере оборудования, на системы электроснабжения птицефабрики ПАО «Боровский» Тюменского района Тюменской области, проведены выбор и проверка проводников электрических сетей, а также электрических и коммутационных аппаратов.

Последующая требуемая проверка всего оборудования подстанции птицефабрики ПАО «Боровский» Тюменского района Тюменской области основывается на результатах расчёта электрических нагрузок.

Расчётным путём установлено, что выбранное современное оборудование, соответствует условиям всех проверок и может быть установлено в системе электроснабжения объекта проектирования.

Также в работе осуществлена разработка системы автоматического управления микроклиматом системы электроснабжения птицефабрики ПАО «Боровский» Тюменского района Тюменской области.

Внедрение данной автоматизированной системы позволит добиться значительной экономии финансов на объекте проектирования.

Работа состоит из трёх разделов и выполняется согласно требованиям методических указаний с использованием принятых расчётных методик и нормативных положений основных документов.

Предложенные в работе практические мероприятия по реконструкции системы электроснабжения птицефабрики, с учётом практического внедрения системы автоматического управления микроклиматом, позволят значительно повысить показатели надёжности, безопасности, экономичности и экологических характеристик на объекте проектирования.

Для решения поставленных заданий, в работе применяются следующие методы исследований: анализ нормативных документов и учебной технической литературы, индуктивный и дедуктивный методы анализа, методы расчёта электрических цепей, методы сравнения, аналитический метод.

Применяются признанные методики расчёта и проектирования электрических сетей и систем электроснабжения.

Все принятые решения подтверждаются на основании полученных результатов расчётов с применением аналитического метода анализа.

# **1 Характеристика системы электроснабжения птицефабрики**

## **1.1 Исходная характеристика птицефабрики**

Современный животноводческий комплекс характеризуется частичной или полной автоматизацией практически всех производственных технологических процессов.

Именно этим путём повышается продуктивность производства на современных предприятиях животноводческих комплексах.

Таким образом, значительно повышается прибыль и снижаются расходы на собственные нужды технологического процесса.

Птицефабрики являются составной частью животноводческого комплекса, обеспечивая технологический процесс получения куриного мяса, перьев и яиц.

Как было указано ранее, объектом проектирования является птицефабрика.

В работе рассматривается система электроснабжения птицефабрики ПАО «Боровский» Тюменского района Тюменской области.

Основной акцент на данной птицефабрике акцентируется на технологическом процессе разведения курей элитных пород, а также получении куриного мяса и яиц высокого качества.

Для птицефабрики птицефабрики ПАО «Боровский» Тюменского района Тюменской области предусматривается длинное одноэтажное здание, в котором расположены все основные производственные и непроизводственные помещения.

Стены и перегородки здания птицефабрики птицефабрики ПАО «Боровский» Тюменского района Тюменской области «выполнены из кирпича на бетонном фундаменте» [4].

Двухскатная крыша птицефабрики птицефабрики ПАО «Боровский» Тюменского района Тюменской области покрыта шифером.

Здание птицефабрики птицефабрики ПАО «Боровский» Тюменского района Тюменской области «состоит из помещения для содержания животных и тамбура в торце здания, в котором находятся подсобные помещения: туалет, инвентарный и инструментальный склады, щитовая и комната для отдыха обслуживающего персонала» [4].

Технологическим процессом на птицефабрике птицефабрики ПАО «Боровский» Тюменского района Тюменской области предусмотрено поступление взрослых птиц (куриц-несушек) для высиживания яиц, и откорм цыплят до определённого возраста.

Животные на птицефабрике птицефабрики ПАО «Боровский» Тюменского района Тюменской области содержатся в секциях, «которые расположены вдоль птицефабрики в четыре ряда, с образованием двух кормовых проходов» [8].

В каждой секции производственных помещений находятся вместе куры-наседки и цыплята, которые находятся на отдельной площадке.

Также на данной птицефабрике предусмотрены площадки для кормления взрослых птиц и цыплят.

Площадки для цыплят и взрослых птиц оборудуются электрическим обогревом с помощью обогревателей, причём температура площадки для цыплят должна быть несколько выше, чем для взрослых птиц, что необходимо по технологии содержания животных.

На птицефабрике применяется ручное регулирование температуры, что создаёт определённый дискомфорт.

Также на птицефабрике птицефабрики ПАО «Боровский» Тюменского района Тюменской области установлены сосновые полки с электрическим нагревом воды.

«Габаритные размеры помещений, а также характеристика поверхностей и категория по условиям окружающей среды на птицефабрике птицефабрики ПАО «Боровский» Тюменского района Тюменской области, приведены в таблице 1» [7].



Таблица 1 – Характеристика помещений птицефабрики птицефабрики ПАО «Боровский» Тюменского района Тюменской области

№ по плану	Наименование помещений	Длина, м	Ширина, м	Высота, м	Площадь, м <sup>2</sup>	Коэффициент отражения, %			Категория по условиям окружающей среды
						$\rho_{\text{п}}$	$\rho_{\text{с}}$	$\rho_{\text{р}}$	
1	Секция для взрослых птиц	42	18	2,7	756	50	30	10	Сырое
2	Секция для цыплят	22	18	2,7	396	50	30	10	Сырое
3	Машинное отделение	6,7	4	2,7	26,8	50	30	10	Сырое
4	Службное помещение	5,2	3,2	2,7	16,64	70	50	30	Сухое
5	Площадка для взвешивания	4	3	2,7	12	50	30	10	Сырое
6	Коридор	18	4	2,7	72	50	30	10	Сырое
7	Венткамера	5,2	3,2	2,7	16,64	50	30	10	Сухое
7	Венткамера	3,5	3	2,7	10,5	50	30	10	Сухое
8	Тамбур	2	2	2,7	4	50	30	10	Влажное
9	Электрощитовая	5,2	2,6	2,7	13,52	50	30	10	Сухое
10	Инвентарная	5,2	2,4	2,7	12,48	50	30	10	Сухое
11	Коридор	5,2	2,8	2,7	14,56	50	30	10	Сухое

По данным таблицы 1, можно сделать выводы, что практически все производственные технологические помещения птицефабрики птицефабрики ПАО «Боровский» Тюменского района Тюменской области относятся к опасным и особо опасным с точки зрения электробезопасности.

Данную информацию о характеристиках помещений птицефабрики птицефабрики ПАО «Боровский» Тюменского района Тюменской области необходимо учесть в работе далее при решении поставленных задач.

## 1.2 Технологический процесс на птицефабрике

Известно, что на современных птицефабриках «значительное распространение получили электрифицированные транспортные средства, которые обеспечивают и облегчают работу обслуживающему персоналу» [4].

Практически все технологические линии птицефабрики должны быть электрифицированы и автоматизированы.

Приготовление кормов, используемых для непосредственного кормления курей и цыплят, «является наиболее трудоёмким процессом» [11] на птицефабрике. Также в корма необходимо добавлять витамины для обеспечения прироста живого веса и нормального развития животных. Особенно это актуально для цыплят.

Перед кормлением взрослой птицы и цыплят, корма предварительно увлажняются.

Корма для кормления взрослой птицы и цыплят «привозят из комбикормового цеха» [9].

Хороший микроклимат на птицефабрике «имеет очень важную роль в продуктивности животных, и поэтому на» [4] объекте необходимо разработать систему управления и поддержания микроклимата (вентиляция и отопление).

На сегодняшний день этот процесс не автоматизирован, что приводит к значительной потере средств на ручное регулирование микроклимата и общему уменьшению дохода на птицефабрике.

Данный вопрос требует срочного решения, путём разработки современной автоматической системы управления микроклиматом.

Вентиляция птицефабрики «децентрализована с размещением оборудования в шумо- и теплоизолированных шкафах по типу промышленных комплексов» [17].

Также в работе рассматривается общее отопление.

«Его во всех случаях целесообразно совмещать с приточной вентиляцией» [12] для обеспечения комфорта животных путём достижения определённых установленных температурных режимов.

Вентиляционные установки, применяющиеся «для поддержания допустимых пределов температуры, пыли, влажности и вредных газов на птицефабриках всех типов также необходимы для животных, как и хорошее полноценное питание» [4].

«Известно, что большим преимуществом обладает содержание животных, особенно молодняка, в тёплом (обогреваемом) помещении» [4].

«Системы общего отопления» [12] при наличии и применении рациональных схем автоматизации «способны обеспечить надлежащие параметры микроклимата» [15].

Известно, что водоснабжение на птицефабрике – «очень трудоемкий процесс, электрификация и автоматизация которого обеспечивает работу обслуживающего персонала и повышает производительность роста и увеличения веса у животных» [4].

Например, прекращение водоснабжения и поения животных из автопоилок снижает привес поголовья цыплят примерно на 20-25 %.

Водоснабжение птицефабрики выполнено «по каскадной схеме из водоёма с помощью водонапорных башен, а водоснабжение горячей водой – централизовано» [16].

Уборка куриного помёта – «это очень важный и трудоемкий процесс на птицефабрике» [15]. Куриный помёт из помещений птицефабрики «удаляется электрифицированным скребковым транспортёром, с одновременной погрузкой его в транспортное средство два раза в день» [19].

Периодически на птицефабрике «осуществляется бактерицидное облучение помещений лампами ультрафиолетового облучения» [4].

Выводы по разделу 1.

В результате выполнения раздела, рассмотрен основной технологический процесс на птицефабрике ПАО «Боровский» Тюменского района Тюменской области.

Приведена характеристика помещений птицефабрики птицефабрики ПАО «Боровский» Тюменского района Тюменской области.

Установлено, что практически все производственные технологические помещения птицефабрики птицефабрики ПАО «Боровский» Тюменского района Тюменской области относятся к опасным и особо опасным с точки зрения электробезопасности. Данную информацию о характеристиках помещений птицефабрики птицефабрики ПАО «Боровский» Тюменского

района Тюменской области необходимо учесть в работе далее при решении поставленных задач.

Установлено, что хороший микроклимат на птицефабрике имеет очень важную роль в продуктивности животных, и поэтому на объекте необходимо разработать систему управления и поддержания микроклимата (вентиляция и отопление).

На сегодняшний день этот процесс не автоматизирован, что приводит к значительной потере средств на ручное регулирование микроклимата и общему уменьшению дохода на птицефабрике.

Также в работе, помимо разработки системы автоматического управления микроклиматом, предполагается ввести в эксплуатацию некоторое новое, современное оборудование, которое обеспечит более высокие технические и экономические показатели.

Кроме того, также нужна реконструкция системы освещения птицефабрики, которую планируется осуществить путём замены устаревших ламп накаливания на современные светодиодные и люминисцентные типы источников света.

Таким образом, установлено, что в мероприятия по реконструкции системы электроснабжения птицефабрики птицефабрики ПАО «Боровский» Тюменского района Тюменской области, необходимо включить:

- разработку системы автоматического управления микроклиматом;
- ввод в эксплуатацию нового оборудования путём подключения к существующей системе электроснабжения птицефабрики;
- реконструкция системы освещения птицефабрики путём замены устаревших ламп накаливания на современные светодиодные и люминисцентные типы источников света.

Все мероприятия по реконструкции системы электроснабжения птицефабрики птицефабрики ПАО «Боровский» Тюменского района Тюменской области, детально обосновываются расчётным путём в работе далее.

## 2 Расчётная часть

### 2.1 Проектирование электрического освещения птицефабрики

Далее в работе осуществляется расчёт и выбор системы электрического освещения для помещений птицефабрики согласно [1].

Как было указано ранее, на объекте исследования нужна реконструкция системы освещения птицефабрики, которую планируется осуществить путём замены устаревших ламп накаливания на современные светодиодные и люминисцентные типы источников света.

«Проводится выбор освещённости помещений птицефабрики» [4].

«Результаты выбора нормируемой освещённости и коэффициента запаса приведены в таблице 2» [11].

Таблица 2 – Результаты выбора нормируемой освещённости и коэффициента запаса в системе электроснабжения птицефабрики

Наименование помещений	Тип источника света	Плоскость, в которой нормируется освещённость	$E_n$ , лк	Коэффициент запаса
Секция для взрослых птиц	лл	Г-0,0	75	1,3
Секция для цыплят	лл	Г-0,0	75	1,3
Машинное отделение	сл	Г-0,0	20	1,15
Служебное помещение	лл	Г-0,8	150	1,3
Площадка для взвешивания	сл	В-1,2	100	1,15
Коридор	сл	Г-0,0	20	1,15
Венткамера	сл	Г-0,0	20	1,15
Венткамера	сл	Г-0,0	20	1,15
Тамбур	сл	Г-0,0	20	1,15
Электрощитовая	сл	В-1,5	50	1,15
Инвентарная	сл	Г-0,0	10	1,15
Коридор	сл	Г-0,0	20	1,15

«Расчетную высоту установки светильников  $H_p$ , м, определяют по формуле» [14]

$$H_p = H - h_{св} - h_p, \quad (1)$$

где « $H$  - высота помещения, м» [9];

« $h_{св}$  - высота свеса светильника, м» [9];

« $h_p$  - высота расположения рабочей поверхности над уровнем пола, м» [9].

Результаты выбора светильников для применения в помещениях птицефабрики сведены в таблицу 3.

Таблица 3 – Результаты выбора светильников для применения в помещениях птицефабрики

Наименование помещения	Тип светильников	Количество и мощность ламп, Вт	Степень защиты	$\lambda_c$
Секция для взрослых птиц	ЛСП18	36	IP54	1,42
Секция для цыплят	ЛСП18	36	IP54	1,47
Машинное отделение	НСП02	200	IP54	1,63
Служебное помещение	ЛПО01	40	IP54	1,48
Площадка для взвешивания	НСП02	200	IP54	1,62
Коридор	НСП02	200	IP54	1,69
Венткамера	НСП02	200	IP54	1,61
Венткамера	НСП02	200	IP54	1,58
Тамбур	НСП02	200	IP54	1,64
Электрощитовая	НСП02	200	IP54	1,62

Далее, исходя из выбранных типов и марок светильников, с учётом источников света, принятых в работе, проводится светотехнический «расчёт освещения помещений птицефабрики» [17].

«Расстояние между светильниками в ряду» [17]

$$L'_{A,B} = \lambda_c \cdot H_p, \quad (2)$$

где « $\lambda_c$  –выгоднейшее относительное расстояние между светильниками» [9].

«Число рядов светильников» [17]:

$$N'_B = \frac{B - 2\ell'_B}{L'_B} + 1, \quad (3)$$

где « $B$  – ширина помещения, м» [16].

«Число светильников в ряду» [1]:

$$N'_A = \frac{A - 2\ell'_A}{L'_A} + 1, \quad (4)$$

где « $A$  – длина помещения, м» [9].

«Действительные расстояния от стены до ближайшего ряда светильников» [9]:

$$L_A = \frac{A}{N_A - a}. \quad (5)$$

$$L_B = \frac{B}{N_B - a}. \quad (6)$$

«Расчёт освещения основных производственных помещений птицефабрики проводится методом удельной мощности» [1].

«Расчетное значение удельной мощности для люминесцентных ламп» [2]:

$$P_{уд} = P'_{уд} \cdot \kappa_1 \cdot \kappa_2 \cdot \frac{E_n}{100}, \quad (7)$$

где « $\kappa_1$  - коэффициент приведения коэффициентов запаса» [2];

« $\kappa_2$  - коэффициент приведения коэффициентов отражения» [2].

$$P_{y\partial} = 3,96 \cdot 1 \cdot \frac{1,3}{1,5} \cdot \frac{75}{100} = 2,57 \text{ Вт} / \text{м}^2.$$

«Число светильников в ряду» [2]:

$$N_A = \frac{P_{y\partial} \cdot S}{N_B \cdot P_l \cdot n}, \quad (8)$$

где « $P_l$  - мощность принятой лампы данного светильника, Вт» [9].

$$N_A = \frac{2,57 \cdot 756}{5 \cdot 36 \cdot 1} = 10,7 \text{ шт.}$$

«Принимается  $N_A = 10$  шт» [12].

«Расчет освещения в секции для цыплят» [12]:

$$P_{y\partial} = 3,96 \cdot 1 \cdot \frac{1,3}{1,5} \cdot \frac{75}{100} = 2,57 \text{ Вт} / \text{м}^2.$$

$$N'_A = \frac{P_{y\partial} \cdot S}{N_B \cdot P_l \cdot n} = \frac{2,57 \cdot 396}{5 \cdot 36 \cdot 1} = 5,65 \text{ шт.}$$

«Принимается  $N_A = 5$  шт» [12].

«Суммарное число светильников» [12]:

$$N_{\Sigma} = N_A \cdot N_B. \quad (9)$$

$$N_{\Sigma} = 5 \cdot 5 = 25 \text{ шт.}$$

«Расстояние между светильниками в ряду находится по (5)» [12]:

$$L_A = \frac{22}{5} = 4,4 \text{ м.}$$



«Расчет освещения в служебном помещении» [12]

$$P_{y\partial} = 6,8 \cdot 1 \cdot \frac{1,3}{1,5} \cdot \frac{150}{100} = 8,84 \text{ Вт/м}^2.$$

$$N'_A = \frac{P_{y\partial} \cdot S}{N_B \cdot P_l \cdot n} = \frac{8,84 \cdot 16,64}{1 \cdot 40 \cdot 2} = 1,8 \text{ шт.}$$

«Принимается  $N_A = 2$  шт» [12].

«Суммарное число светильников в помещении находится по (8)» [12]:

$$N_{\Sigma} = 2 \cdot 1 = 2 \text{ шт.}$$

«Расстояние между светильниками в ряду» [12]:

$$L_A = \frac{5,2}{2} = 2,6 \text{ м.}$$

«Определение мощности ламп во вспомогательных помещениях производится методом удельной мощности» [3].

«Расчетная единичная мощность источника» [12]:

$$P_p = \frac{P_{y\partial} \cdot S}{N_{\Sigma} \cdot n_c}, \quad (10)$$

где « $P_{y\partial}$  – расчетное значение удельной мощности, Вт/м» [18];

« $S$  – площадь помещения, м<sup>2</sup>» [18];

« $n_c$  – число ламп в светильнике» [18].

«Должно выполняться условие» [18]:

$$0,9P_p \leq P_{л} \leq 1,2P_p. \quad (11)$$

«Значение удельной мощности» [18]:

$$P_{y\partial} = P'_{y\partial} \cdot \kappa_1 \cdot \kappa_2, \quad (12)$$

где « $P'_{y\partial}$  – табличное значение удельной мощности, Вт/м<sup>2</sup>» [18];

« $\kappa_1$  – коэффициент приведения коэффициента запаса к табличному значению  $\kappa_1 = \kappa_3 / \kappa_{3\text{табл}}$ » [18];

« $\kappa_2$  – коэффициент приведения коэффициентов отражения к расчетному значению» [18].

«Проводится расчёт освещения на примере машинного отделения» [18]  
птицефабрики:

$$P_{y\partial} = 11.4 \cdot \frac{1,15}{1,3} \cdot 1 \cdot 1 = 10 \text{ Вт} / \text{м}^2.$$

$$P_p = \frac{10 \cdot 26.8}{2} = 134 \text{ Вт}.$$

$$120,6 \leq P_n \leq 160,8.$$

Для освещения помещений машинного отделения птицефабрики, применяется светодиодная лампа российского производителя «Наносвет» типа E27 18 W (18 Вт), являющиеся аналогом лампы накаливания на 150 Вт.

Старые лампы накаливания, которыми было освещено машинное отделение, подлежат демонтажу.

Результаты расчета освещения помещений птицефабрики приведены в таблице 4.

При этом для наглядности в таблице 4 в круглых скобках указаны аналогичные мощности светодиодных ламп, соответствующие лампам накаливания, подлежащим замене и демонтажу в связи с реконструкцией системы освещения птицефабрики.

Для всех указанных производственных и непроизводственных объектов птицефабрики, в работе окончательно принимаются к установке современные светодиодные лампы.

Таблица 4 – Расчет мощности ламп для освещения помещений птицефабрики

№	Наименование	$P'_{уд}$ , Вт/м <sup>2</sup>	$P_{уд}$	$S$ , м <sup>2</sup>	$N_{\Sigma}$	$P_p$ , Вт	$0,9P_p$	$1,2P_p$	$P_{л}$
6	Коридор	9	7,92	72	4	142,56	128,3	171,07	150
7	Венткамера	15	13,2	16,64	1	219,6	197,68	263,57	200
10	Инвентарная	10	8,8	12,48	1	109,82	98,8	131,8	100
11	Коридор	15	13,2	14,56	1	192,19	172,9	230,63	200

«Далее в работе проводится расчет освещения в электрощитовой (рисунок 1)» [15].

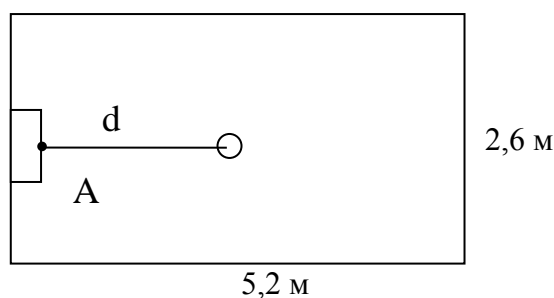


Рисунок 1 – «Расположение светильника и контрольной точки на плане электрощитовой» [15]

«Значения условной горизонтальной освещенности» [12]:

$$d = 2,2 \text{ м}; H_p = 0,8 \text{ м}; e_2 = 7 \text{ лк},$$

$$e_6 = e_2 \cdot \frac{d}{H_p}, \quad (13)$$

где « $d$  – высота подвеса светильника, м» [15];

« $H_p$  – рабочая высота, м» [15].

$$e_6 = 7 \cdot \frac{2,2}{5 \cdot 36 \cdot 1} = 10,7 \text{ лк}.$$

«Требуемый световой поток источников света» [12]:

$$\Phi = \frac{1000 \cdot E_n \cdot \kappa_3 \cdot Z}{e_8}, \quad (14)$$

где « $Z$  – коэффициент минимальной освещенности» [15];

« $\kappa_3$  – коэффициент запаса» [15].

$$\Phi = \frac{1000 \cdot 50 \cdot 1,15 \cdot 1,1}{19,25} = 3285,7 \text{ лм.}$$

«Для освещения помещения» [15] электрощитовой птицефабрики, принимается лампа, поток которой находится в пределах

$$\begin{aligned} 0,9 \Phi_{л} < \Phi_{л} < 1,2 \Phi_{л}, \\ 2957,14 < \Phi_{л} < 3942,86. \end{aligned}$$

Исходя из результатов расчёта, для освещения помещения электрощитовой птицефабрики, принимается светодиодные лампы с цоколем E27 «Наносвет» типа E27 27 W (27 Вт), являющиеся аналогом ламп накаливания на 200 Вт,  $\Phi_{л} = 3150$  лм.

Расчет освещения в остальных помещениях птицефабрики взвешивания производится аналогично.

Результаты расчетов осветительной сети помещений птицефабрики с учётом размещения светильников на плане помещений, сведены в таблицу 5.

Таблица 5 – Результаты расчетов осветительной сети помещений птицефабрики с учётом размещения светильников

Наименование	A, м	B, м	H, м	h <sub>с</sub> , м	h <sub>р</sub> , м	H <sub>р</sub> , м	N' <sub>A</sub> шт	N <sub>A</sub> шт	N' <sub>B</sub> шт	N <sub>B</sub> шт	N <sub>Σ</sub> шт	L <sub>A</sub> , м	I <sub>A</sub> , м	L <sub>B</sub> , м
Секция для взрослых птиц	42	18	2,7	0,3	0	2,4	–	–	5,17	5	–	–	–	3,6
Секция для цыплят	22	18	2,7	0,3	0	2,4	–	–	5,17	5	–	–	–	3,6
Машинное отделение	6,7	4	2,7	0,4	0	2,3	1,76	2	0,86	1	2	3,35	1,7	–
Служебное помещение	5.2	3.2	2,7	0,3	0,8	1,6	–	–	1,38	1	–	–	–	–
Площадка для взвешивания	4	3	2,7	0,4	1,2	1,1	2,16	2	1,64	2	–	2	1	1,5
Коридор	18	4	2,7	0,4	0	2,3	4,7	4	1,05	1	4	4,5	2,25	–
Венткамера	5.2	3.2	2,7	0,4	0	2,3	1,36	1	0,84	1	1	–	2.6	–
Электрощитовая	5.2	2.6	2,7	0,4	0	2,3	1.36	1	0.66	1	–	–	2.6	–
Инвентарная	5.2	2.4	2,7	0,4	0	2,3	1.36	1	0.63	1	–	–	2.6	–
Коридор	5.2	2,8	2,7	0,4	0	2,3	1,36	1	0,68	1	1	–	2.6	–

«Далее, исходя из количества и мощности выбранных источников света» [13] для освещения помещений птицефабрики, в работе производится расчет осветительных нагрузок.

«Активная мощность» [3]:

$$P_{\max} = \kappa_c \sum_{i=1}^n P_{уст\ i}, \quad (15)$$

где « $\kappa_c$  – коэффициент спроса» [15];

« $P_{уст\ i}$  – суммарная установленная мощность светильников в  $i$ -м помещении» [15];

« $n$  – количество помещений» [15].

$$P_{\max} = 0,9(2,16 + 1,08 + 0,3 + 1,192 + 0,6 + 0,6 + 0,2 + 0,1 + 0,06 + 0,06 + 0,2 + 0,1 + 0,2 + 0,2) = 6,35 \text{ кВт}.$$

«Полная мощность светильников с люминесцентными лампами, кВА» [15]:

$$S_{лл} = \frac{P_{лл}}{\cos\phi_{лл}}, \quad (16)$$

где « $\cos\phi_{лл}$  – коэффициент мощности для светильников с люминесцентными лампами» [15].

$$S_{лл} = \frac{2,16 + 1,08 + 0,192}{0,85} = 4,03 \text{ кВА}.$$

«Реактивная мощность светильников с люминесцентными лампами, квар» [15]:

$$Q_{лл} = \sqrt{S_{лл}^2 - P_{лл}^2}. \quad (17)$$

$$Q_{лл} = \sqrt{4,03^2 - 3,43^2} = 2,11 \text{ квар.}$$

«Полная мощность, кВА, осветительной установки на вводе» [15]:

$$S_{\max} = \sqrt{P_{\max}^2 + Q_{лл}^2}, \quad (18)$$

$$S_{\max} = \sqrt{6,35^2 + 2,11^2} = 6,69 \text{ кВА.}$$

«Коэффициент мощности на вводе» [15]:

$$\cos \phi_g = \frac{P_{\max}}{S_{\max}}, \quad (19)$$

$$\cos \phi_g = \frac{6,35}{6,69} = 0,95.$$

«Ток на вводе» [15]:

$$I_g = \frac{S_{\max}}{\sqrt{3} \cdot U_{л}}, \quad (20)$$

$$I_g = \frac{6690}{\sqrt{3} \cdot 380} = 10,17 \text{ А.}$$

«Годовой расход электроэнергии системой освещения птицефабрики, с учётом всех видов освещения, кВт·ч» [15]:

$$A_{\text{год}} = P_{\text{max}} \cdot T_{\text{год р}} + P_{\text{деж}} \cdot T_{\text{год деж}}, \quad (21)$$

где « $T_{\text{год р}}$  – время работы светильников рабочего освещения, ч» [15];

« $P_{\text{деж}}$  – активная мощность светильников дежурного освещения, кВт» [15];

« $T_{\text{год деж}}$  – время работы светильников дежурного освещения, ч» [15].

$$A_{год} = 6,35 \cdot 1890 + 0,34 \cdot 8760 = 14979,9 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

План расположения и электрическая схема осветительной сети птицефабрики представлены на графическом листе 1.

## 2.2 Определение расчётных электрических нагрузок

Для следующего этапа, включающего расчёт электрических нагрузок подстанции переменного напряжения птицефабрики ПАО «Боровский» Тюменского района Тюменской области, в работе далее используются данные, представленные в таблице 1 ранее в работе.

С учётом подключения новых потребителей для реконструкции технологического парка объекта, необходимо пересчитать электрические нагрузки питающей птицефабрики ПАО «Боровский» Тюменского района Тюменской области, и, далее, на основании полученных результатов, провести выбор проводников и аппаратов всей системы электроснабжения объекта.

Так как новые потребители подключаются напрямую к РУ-0,4 кВ питающей птицефабрики ПАО «Боровский» Тюменского района Тюменской области, значит, в РУ-0,4 кВ питающей установки необходимо предусмотреть новые присоединения для подключения данных потребителей.

При этом предлагается равномерно разделить электрическую нагрузку объекта (с учётом новых потребителей) на две секции сборных шин 0,4 кВ.

С учётом этого, изменится количество присоединений и мощность на сборных шинах 0,4 кВ птицефабрики ПАО «Боровский» Тюменского района Тюменской области.

Известно, что такая схема обеспечит значительно более высокий уровень надёжности с применением условий резервирования и секционирования, что положительно скажется на бесперебойном электроснабжении потребителей объекта исследования [14].



Как было указано в работе ранее, одним из этапов предложенных мероприятий по реконструкции рассматриваемой в работе подстанции птицефабрики ПАО «Боровский» Тюменского района Тюменской области является модернизация оборудования, заключающаяся в обновлении и подключении новых установок.

Известно, что внедрение принятых решений по модернизации оборудования в системе электроснабжения птицефабрики, повысит показатели энергоэффективности и является одной из ключевых тенденций управления развитием системы электроснабжения.

Разработанные и внедрённые мероприятия по модернизации оборудования позволят значительно повысить надёжность схемы электрических соединений в системе электроснабжения птицефабрики, и её потребителей в целом.

В работе при модернизации оборудования необходимо учесть критерии, являющиеся определяющими при выборе современного типа оборудования в системе электроснабжения птицефабрики.

Известно, что современные технические решения по модернизации оборудования включают применение нового инновационного оборудования, которое характеризуется следующими техническими и экономическими критериями [19,20]:

- высокая надёжность узлов, механизмов и систем оборудования (критерий 1);
- повышенный коммутационный ресурс, минимальный износ главной и дугогасительной контактных систем (критерий 2);
- стабильное отключение больших токов (критерий 3);
- применение современных способов гашения электрической дуги (критерий 4);
- повышенная электробезопасность (критерий 5);
- экологическая безопасность (критерий 6);
- пожаробезопасность (критерий 7);

- взрывобезопасность (критерий 8);
- удобства и минимум затрат времени на монтаж, обслуживание и ремонт (критерий 9);
- минимум финансовых затрат с коротким сроком окупаемости вложений (критерий 10);
- возможность дальнейшей модернизации (критерий 11).

С учётом этого, далее в работе проводится расчёт электрических нагрузок птицефабрики ПАО «Боровский» Тюменского района Тюменской области, целью которого является определение расчётных электрических нагрузок всех потребителей, а также суммарной расчётной нагрузки данного объекта.

Расчёты проводятся на примере одного объекта, все остальные типичные результаты расчётов сводятся в таблицы.

Известно, что основными потребителями электрической сети птицефабрики являются двигатели переменного тока.

«Активная максимальная мощность, потребляемая одиночным электродвигателем» [9]:

$$P_{\max} = \frac{P_n}{\eta_3} \cdot k_3, \quad (22)$$

где « $P_n$  – номинальная мощность электродвигателя, кВт» [16];

« $k_3$  – коэффициент загрузки электродвигателя» [16];

« $\eta_3$  – КПД электродвигателя приданной загрузке» [16].

«Полная мощность  $S_{\max}$ , кВА, потребляемая электродвигателем из сети» [16]:

$$S_{\max} = \frac{P_{\max}}{\cos \phi_3}, \quad (23)$$

где « $\cos \phi_3$  – коэффициент мощности электродвигателя при данном коэффициенте загрузки» [16].

«Реактивная мощность, потребляемая электродвигателем» [9]:

$$Q_{\max} = \sqrt{S_{\max}^2 - P_{\max}^2}. \quad (24)$$

«Номинальный ток двигателя  $I_n$ , А, определяется по соотношению» [9]:

$$I_n = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos \phi_n \cdot \eta_n}, \quad (25)$$

где « $\eta_n$ ,  $\cos \phi_n$  – соответственно КПД и коэффициент мощности двигателя при номинальной нагрузке» [16].

«Пусковой ток двигателя» [9]:

$$I_n = I_n \cdot i_n, \quad (26)$$

где « $i_n$  – кратность пускового тока» [9].

«Рабочий ток электродвигателя» [9]:

$$I_p = \frac{P_n \cdot k_3}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos \phi_3 \cdot \eta_3}. \quad (27)$$

«Годовое потребление электроэнергии» [9]:

$$A_{\text{год}} = P_{\max} \cdot T_{\text{год}}, \quad (28)$$

где « $T_{\text{год}}$  – число часов использования установки в году, ч» [16].

$$T_{\text{год}} = t_{\text{сут}} \cdot n, \quad (29)$$

где « $t_{\text{сут}}$  – продолжительность работы установки в сутки, ч» [16];

« $n$  – число дней работы в году» [16].

Помимо двигательной нагрузки, на птицефабрике есть также чисто активная нагрузка виде нагревателей.

Определяется их расчётные параметры.

«Ток, потребляемый водонагревателем» [16]:

$$I = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_{л}}, \quad (30)$$

где « $P_n$  – номинальная мощность водонагревателя, кВт» [16].

$$I = \frac{10,5 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380} = 15,9 \text{ A.}$$

«Годовое потребление электроэнергии» [16]:

$$T_{год} = 7 \cdot 365 = 2555 \text{ ч.}$$
$$A_{год} = 10,5 \cdot 2555 = 26827,5 \text{ кВт} \cdot \text{ч.}$$

«Ток, потребляемый секцией калорифера» [16]:

$$I = \frac{7,5 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380} = 11,4 \text{ A.}$$

«Годовое потребление электроэнергии калорифером» [16]:

$$A_{год} = 22,5 \cdot 5040 = 113400 \text{ кВт} \cdot \text{ч.}$$

Кроме того, третий вид нагрузки на птицефабрике представлен в виде облучателей, потребляющих активно-индуктивную составляющую.

Их также необходимо учесть в работе и провести соответствующие расчёты.

«Мощности, потребляемые облучателями одной группы» [16]:

$$P_{зр} = 1,2P_{об} \cdot n. \quad (31)$$

$$P_{зр} = 1,2 \cdot 22 \cdot 10 = 360 \text{ Вт.}$$

$$S_{зр} = \frac{360}{0,85} = 423,52 \text{ ВА.}$$

$$Q_{зр} = \sqrt{423,52^2 - 360^2} = 223,09 \text{ вар.}$$

$$I_{расч} = \frac{423,52}{220} = 1,93 \text{ А.}$$

«Соответственно активная, реактивная и полная мощности облучателей» [16]:

$$P = P_{зр} \cdot 4. \quad (32)$$

$$P = 360 \cdot 4 = 1440 \text{ Вт.}$$

$$Q = Q_{зр} \cdot 4. \quad (33)$$

$$Q = 223,09 \cdot 4 = 892,36 \text{ вар.}$$

$$S = S_{зр} \cdot 4. \quad (34)$$

$$S = 423,52 \cdot 4 = 1694,08 \text{ ВА.}$$

«Годовой расход электроэнергии облучателей» [16]:

$$A_{год} = 1140 \cdot 5,04 \cdot 210 \cdot 10^{-3} = 1524,09 \text{ кВт} \cdot \text{ч.}$$

Результаты расчета нагрузок силовых потребителей двигательной нагрузки птицефабрики сведены в таблицу 6. Также для повышения точности расчётов, при «определении нагрузок на вводе в здание птицефабрики, составляется график нагрузок (таблица 7)» [16].

Таблица 6 – Результаты расчета нагрузок силовых потребителей двигательной нагрузки птицефабрики

Наименование потребителей	Кол-во	T <sub>сут</sub> , ч	n, суток	T <sub>год</sub> , ч	Каталожные данные электродвигателя					k <sub>з</sub>	η <sub>з</sub>	cosφ <sub>з</sub>	P <sub>max</sub> кВт	S <sub>max</sub> , кВт·ч	Q <sub>max</sub> квар	I <sub>н</sub> , А	I <sub>р</sub> , А	I <sub>н</sub> , А	A <sub>год</sub> , кВт·ч
					Тип	P <sub>н</sub> , кВт	η <sub>н</sub>	cosφ <sub>н</sub>	i <sub>н</sub>										
Электродвигатель вентилятора	2	24	365	8760	4А80В4У3	1,5	0,77	0,83	5	0,8	0,74	0,77	1,62	2,09	1,32	3,56	3,17	17,8	14191
Электродвигатель форсунки ТГ-1А	2	0,5	365	183	АО2-11-2	0,8	0,78	0,86	4,5	1	0,78	0,86	1,03	1,19	0,59	1,81	1,81	8,16	188
Электродвигатель вентилятора СФОА-25/0,5	1	24	365	8760	4А80В4У3	1,5	0,77	0,83	5	0,8	0,74	0,77	1,62	2,09	1,32	3,56	3,17	17,8	14191
Электродвигатели ТСН-160: горизонтальный	2	0,63	365	230	4А112М6У3	4	0,82	6	6	0,5	0,82	0,62	2,24	3,93	3,08	9,16	5,98	54,69	515,2
Электродвигатели ТСН-160: наклонный	2	0,63	365	230	4А80В4	1,5	0,77	0,83	5	0,5	0,78	0,63	0,96	1,53	0,65	3,93	2,32	19,64	515,2
Электродвигатель кормораздатчика КСП-0,8	4	0,75	365	274	4А71В4СУ3	0,75	0,7	0,75	4,5	0,5	0,63	0,65	0,59	0,92	0,7	2,17	1,39	9,76	162
	2	0,75	365	274	4А100S4У3	3	0,82	0,83	6	0,5	0,82	0,65	1,82	2,8	2,12	6,7	4,2	40,2	332
Насос к ВЭП-600	1	7	365	2555	4АА63АУ3	0,37	0,7	0,86	4,5	1	0,7	0,86	0,53	0,41	0,3	0,93	0,93	4,18	1354

Таблица 7 – Почасовое распределение электрических нагрузок зимних суток

Наименование потребителей	P max, кВт	Qmax, квар	Часы суток																									
			0...1	1...2	2...3	3...4	4...5	5...6	6...7	7...8	8...9	9...10	10...11	11...12	12...13	13...14	14...15	15...16	16...17	17...18	18...19	19...20	20...21	21...22	22...23	23...24		
Освещение:																												
рабочее	6,35	2,11																										
дежурное	0,34	0,21																										
Вентиляция	5,3	3,82																										
Электрокалорифер	22,5	0																										
Кормораздатчики	8,46	9,88																										
Водонагреватель	10,5	0																										
Обогреваемые полы	64,69	0																										
Установка УФ облучения	1,44	0,89																										
Транспортеры	6,8	7,46																										
Pp, кВт			103,8	103,8	103,8	103,8	103,8	103,8	109,8	118,3	116,6	111,3	104,9	104,9	111,9	110,3	104,9	104,9	109,8	109,8	118,3	116,6	103,8	103,8	103,8	103,8	103,8	
Qp, кВАр			4,03	4,03	4,03	4,03	4,03	5,93	15,81	13,39	6,82	4,71	4,71	13,7	11,28	4,71	4,71	5,93	5,93	15,81	13,39	4,03	4,03	4,03	4,03	4,03	4,03	
Sp, кВА			103,9	103,9	103,9	103,9	103,9	110,0	119,3	117,4	115,5	105,0	105,0	112,8	110,8	105,0	105,0	110,0	110,0	119,3	117,4	103,9	103,9	103,9	103,9	103,9	103,9	

### 2.3 Выбор аппаратуры управления и защиты

«Для защиты и коммутации сети птицефабрики, в работе используются предохранители и автоматы» [10].

«Условия выбора предохранителей» [11]:

$$U_{н.пр} \geq U_n. \quad (35)$$

$$I_{н.пр} \geq I_{расч}. \quad (36)$$

«Расчетный ток для одного потребителя  $I_{расч} = I_n$ » [11].

«Расчетный ток  $I_{расч}$ , А, для группы электродвигателей определяется из условия одновременной их работы в технологическом цикле» [11]:

$$I_{расч} = \sum_{i=1}^n I_n, \quad (37)$$

где  $\sum_{i=1}^n I_n$  – «сумма номинальных токов одновременно работающих электродвигателей, А» [11].

«Номинальный ток плавкой вставки,  $I_B$ , А, для защиты одного электродвигателя равен [10]:

$$I_в = \frac{I_{пуск}}{\alpha}. \quad (38)$$

«Для группы электродвигателей [14]:

$$I_в \geq \frac{I_{пуск.н.б}}{\alpha} + \sum_{i=1}^m I_{ни}, \quad (39)$$



где « $I_{\text{пуск. нб}}$  - пусковой ток двигателя наибольшей мощности, А» [11];

$\sum_{i=1}^m I_{ni}$  – «сумма номинальных токов электродвигателей, А» [11];

$\alpha$  – «коэффициент, зависящий от условий пуска двигателя» [11].

«Автоматические выключатели выбираются исходя из условий» [11]:

$$U_{н.а} \geq U_n, \quad (40)$$

$$I_{н.а} \geq I_{\text{расч}}, \quad (41)$$

$$I_{н.расц} \geq I_{\text{расч}}, \quad (42)$$

$$I_{co} \geq \kappa_n \cdot I_{\text{max}}, \quad (43)$$

где « $U_{н.а}$ ,  $U_n$  – напряжение автоматического выключателя и сети, В» [11];

« $I_{н.а}$  – номинальный ток автоматического выключателя, А» [11];

« $I_{н.расц}$  – номинальный ток расцепителя, А» [11];

« $I_{co}$  – ток срабатывания отсечки, А» [11];

« $\kappa_n$  – коэффициент надежности» [11];

« $I_{\text{max}}$  – максимальный ток линии, питающей потребителя, А» [11].

«Для одного электродвигателя» [11]:

$$I_{\text{max}} = I_n. \quad (44)$$

«Для группы электродвигателей» [11]:

$$I_{\text{max}} = I_{\text{ннб}} + \sum_{i=1}^m I_{ni}. \quad (45)$$

«Расчетная схема для выбора аппаратуры управления и защиты» приведена на рисунке 2.

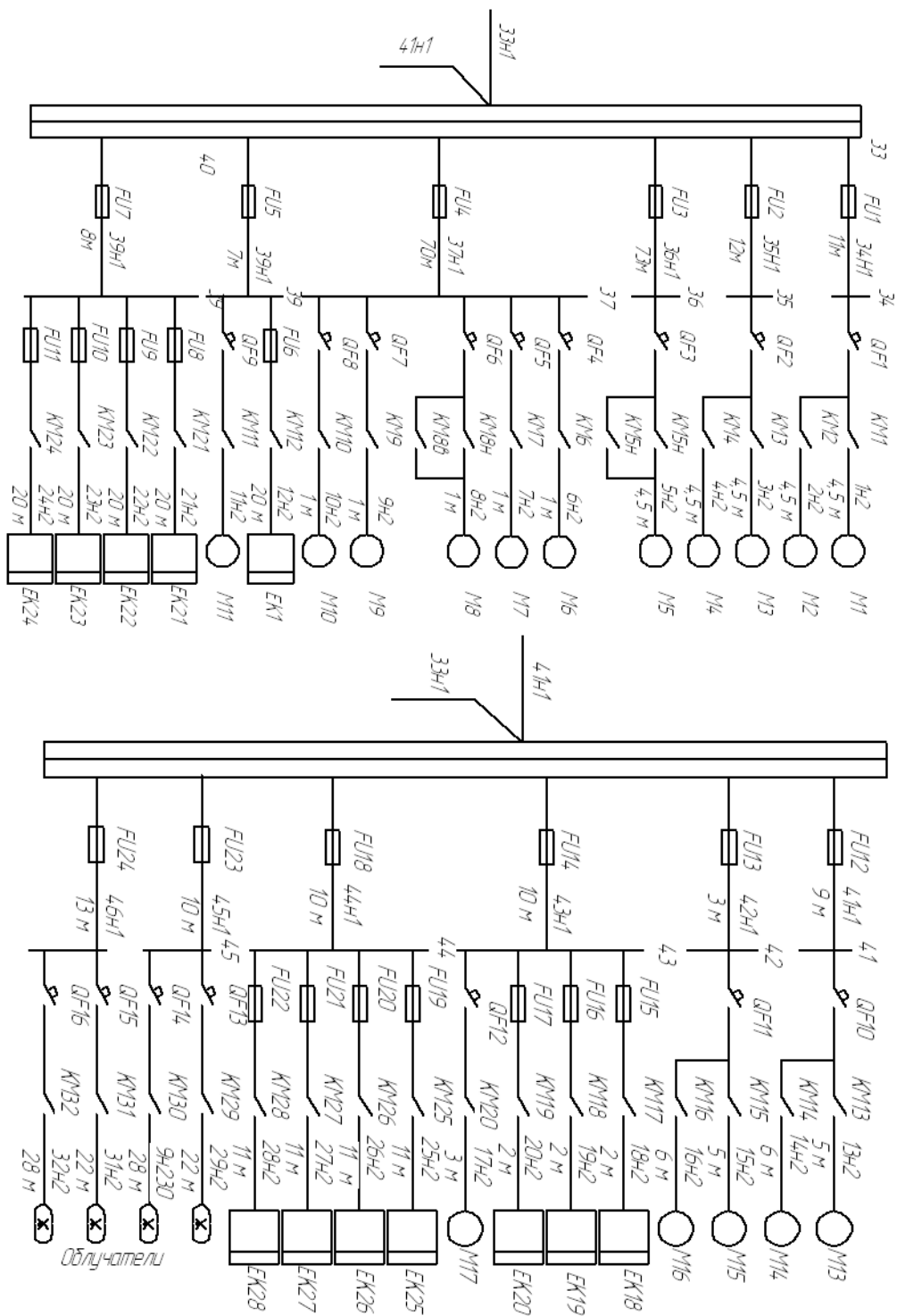


Рисунок 2 – Расчетная схема для выбора аппаратуры управления и защиты

«Выбор аппаратуры управления и защиты для установки в электрической сети птицефабрики, сведены в таблицы 8 и 9.

Таблица 8 – Результаты выбора предохранителей распределительных шкафов системы электроснабжения птицефабрики

Обозначение на схеме	Расчетное значение тока вставки, $I_B$ , А	Тип	$I_n$ , А	$I_{вст}$ , А
FU1, FU2	8,93	НПН2-60	60	10
FU3, FU4	25,12	НПН2-60	60	32
FU5	17,57	НПН2-60	60	20
FU7	42,86	НПН2-60	60	63
FU18	55,15	НПН2-60	60	63
FU12, FU13	31,41	НПН2-60	60	32
FU14	41,31	НПН2-60	60	63
FU23, FU24	3,86	НПН2-60	60	6

Таблица 9 – Результаты выбора автоматов для управления и защиты сети

ЭП	Автоматический выключатель						Пускатель	
	Обозначение	Тип	$I_n$ , А	$I_{нрасц}$ , А	$I_{со}$ , А	$I_B$ , А	Обозначение	Тип
M1, M3 M2, M4	QF1, QF2	BA51Г25	25	6.3	88.2	–	KM1, KM3, KM2, KM4	ПМЛ 121002, РТЛ-1008 ПМЛ-121002, РТЛ-1007
M5, M8	QF3, QF6	BA51Г25	25	2,5	35	–	KM5, KM8	ПМЛ-150104
M6, M9	QF4, QF7	BA51Г25	25	2,5	35	–	KM5, KM8	ПМЛ-110004
M7, M10	QF5, QF8	BA51Г25	25	8	112	–	KM7, KM10	ПМЛ-110004
M11	QF9	BA51Г25	25	1	14	–	KM11	ПМЛ-110004
EK12	FU6	ПР-2	60	-	-	20	KM12	ПМЛ-210004
M13, M15 M14, M16	QF10, QF11	BA51Г25	25	16	224	–	KM13, KM15 KM14, KM16	ПМЛ-121002, РТЛ-1008 ПМЛ-121002, РТЛ-1014
M17	QF12	BA51Г25	25	4	56	–	KM17	ПМЛ-110004
EK18, EK19, EK20	FU15, FU16, FU17	ПР-2	15	–	-	15	KM18, KM19, KM,20	ПМЛ-210004
EK21, EK22, EK23, EK24	FU8, FU9, FU10, FU11	ПР-2	15	–	-	15	KM21, KM22, KM23, KM24	ПМЛ-210004
EK25, EK26, EK27, EK28	FU19, FU20, FU21, FU22	ПР-2	15	–	-	15	KM25, KM26, KM27, KM28	ПМЛ-210004
EL29...EL3 2	QF13-QF16	BA51Г50	50	15	-		KM29- KM32	ПМЛ-110004

Выбранные современные предохранители марки НПН2-60 и автоматы марки ВА51Г25, полностью удовлетворяют условиям выбора и проверки по всем критериям. Следовательно, они могут быть рекомендованы к установке в электрической сети птицефабрики.

## 2.4 Выбор и проверка сечения проводников силовой сети

Далее в работе проводится выбор и проверка сечения проводников силовой сети объекта исследования.

«Сечение проводов и кабелей внутренних силовых сетей напряжением до 1 кВ выбирают» [8]:

– «по допустимому нагреванию расчетным током» [8]:

$$k_1 \cdot k_t \cdot I_{\partial} \geq I_p, \quad (46)$$

– «по условиям защиты сечения провода или кабеля аппаратом защиты» [8]:

$$k_1 \cdot k_t \cdot I_{\partial} \geq k_3 \cdot I_3, \quad (47)$$

где « $I_{\partial}$  – длительно допустимый ток на проводник или кабель, А» [8];

« $I_p$  – расчетный ток нагрузки, А» [8];

« $I_3$  – ток защитного аппарата, А» [8];

« $k_1$  – поправочный коэффициент на число кабелей, лежащих рядом в земле в трубах или без труб» [8];

« $k_t$  – поправочный коэффициент на температуру среды» [8];

« $k_3$  – коэффициент защиты» [8].

– «при прокладке проводов во взрывоопасных помещениях» [8]:

$$I_p = 1,25 \cdot I_n. \quad (48)$$

– «во всех остальных случаях» [8]:

$$I_p = I_n. \quad (49)$$

«Поправочный коэффициент на фактическую температуру среды при прокладке кабелей» [8]:

$$k_t = \sqrt{\frac{t_\delta - t_p}{t_\delta - t_T}}, \quad (50)$$

где  $t_\delta$  – «температура жил проводов и кабелей при длительной нагрузке» [8],  $t_\delta = 65^\circ\text{C}$ .

Электроснабжение птицефабрики осуществляется от подстанции с силовым трансформатором 250 кВА, находящейся на расстоянии 120 м от него.

Схема внешнего электроснабжения птицефабрики представлена на рисунке 3.

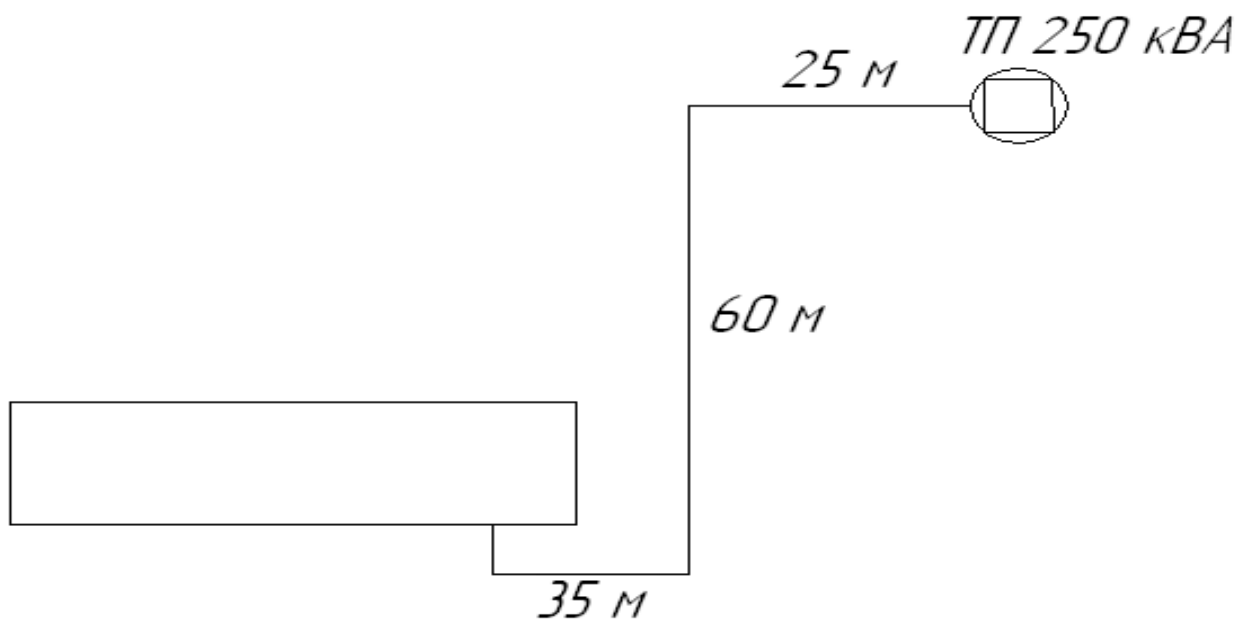


Рисунок 3 – Схема внешнего электроснабжения птицефабрики

Вечерний максимум нагрузки на вводе птицефабрики, полученный по показаниям измерительных приборов на вводе объекта:

$$\begin{aligned}P_{max} &= 118,33 \text{ кВт}, \\Q_{max} &= 15,81 \text{ квар}, \\S_{max} &= 119,38 \text{ кВА}.\end{aligned}$$

Рабочий ток в линии  $I_p$ , А:

$$I_p = \frac{S_{max}}{\sqrt{3} \cdot U_n}, \quad (51)$$

$$I_p = \frac{119,38 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380} = 181,6 \text{ А},$$

$$\cos\phi_g = \frac{P_{max}}{S_{max}}, \quad (52)$$

$$\cos\phi_g = \frac{118,33}{119,38} = 0,99.$$

Для электроснабжения птицефабрики от подстанции 10/0,4 кВ, принимается «провод СИП-2А сечением 3×50+1×50 в соответствии с рекомендациями» [17].

«Длительный допустимый ток нагрузки для этого провода 195 А, что больше 181,6 А» [17].

Следовательно, данный проводник с принятым сечением СИП-2А 3×50+1×50, подходит для внешнего электроснабжения птицефабрики.

Для питания потребителей птицефабрики напряжением 0,38/0,22 кВ в работе приняты низковольтные пятижильные кабели марки ВВГ при питании от шин 0,4 кВ по радиальной схеме без ответвлений.

Данная марка кабелей характеризуется хорошими показателями надёжности за счёт сочетания высококлассной термостойкой изоляции и

брони, а также использования сектороподобных токопроводящих жил, улучшающих токопроводимость кабеля.

Выбор кабельных линий 0,38/0,22 кВ для питания потребителей объекта осуществляется по условиям допустимого перегрева (приведены в работе ранее).

Результаты выбора кабельных линий 0,38/0,22 кВ распределительной сети для питания потребителей 0,4 кВ птицефабрики, в работе приведены в таблице 10.

Таблица 10 – Результаты выбора кабельных линий 0,38/0,22 кВ распределительной сети для питания потребителей 0,4 кВ птицефабрики

№ линии на плане	Длина, м	I <sub>расч</sub> , А	Обозначение защитного аппарата	Кабель		
				Тип	Кол-во жил и сечение	I <sub>доп</sub>
1н2	4,5	3,56	QF1	ВВГ	4×1,5	19
2н2	4,5	1,81	QF1	ВВГ	4×1,5	19
3н2	3,5	3,56	QF2	ВВГ	4×1,5	19
4н2	3,5	1,81	QF2	ВВГ	4×1,5	19
5н2 - 9н2	1	2,17	QF3- QF7	ВВГ	4×1,5	19
7н2,10н2	1	6,7	QF5, QF8	ВВГ	4×1,5	19
11н2	5	0,93	QF9	ВВГ	4×1,5	19
12н2	6,5	15,9	FU6	ВВГ	4×1,5	19
21н2-24н2	20	10,72	FU8-FU11	ВВГ	4×1,5	19
13н2, 15н2	5	3,93	QF10, QF11	ВВГ	4×1,5	19
14н2, 16н2	8	9,16	QF10, QF11	ВВГ	4×1,5	19
17н2	3	3,56	QF12	ВВГ	4×1,5	19
18н2 - 20н2	2	11,4	FU15-FU17	ВВГ	4×1,5	19
25н2-28н2	11	13,79	FU19-FU22	ВВГ	4×1,5	19
29н2-31н2	27	1,93	QF13-QF16	ВВГ	4×1,5	19
34н1-35н1	11,12	5,37	FU1, FU2	ВВГ	5×1,5	20
36н1-37н1	70	15,04	FU3, FU4	ШРПС	4×1,5	19
38н1	8	16,83	FU5	ВВГ	5×1,5	20
39н1	7	42,88	FU6	ВВГ	5×6	46
41н1-42н1	8,9	13,09	FU12, FU13	ВВГ	5×1,5	20
43н1	3	37,76	FU14	ВВГ	5×6	46
44н1	6	55,15	FU18	ВВГ	5×10	61
45н1	10	3,86	FU23	ВВГ	5×1,5	20
46н1	13	3,86	FU24	ВВГ	5×1,5	20

Все выбранные проводники как питающей, так и распределительной сетей 0,4 кВ птицефабрики, удовлетворяют условиям выбора и проверки, поэтому могут быть применены на данном объекте в результате реконструкции.

Результаты выбора линий питающей и распределительной сетей птицефабрики показаны в графической части работы на листе 2.

## **2.5 Разработка мероприятий по монтажу, эксплуатации и ремонту оборудования**

Далее в работе проводится разработка мероприятий по монтажу оборудования вводимого в эксплуатацию оборудования, а также изменения схем соединений на подстанции птицефабрики ПАО «Боровский» Тюменского района Тюменской области в результате проведения реконструкции.

В работе на птицефабрики ПАО «Боровский» Тюменского района Тюменской области новое оборудование доставляется в сборе, поэтому монтаж состоит из следующих основных блоков:

- составление проектной документации и ведомости монтажных работ оборудования птицефабрики ПАО «Боровский» Тюменского района Тюменской области;
- подготовка места установки птицефабрики ПАО «Боровский» Тюменского района Тюменской области;
- закупка и доставка оборудования птицефабрики ПАО «Боровский» Тюменского района Тюменской области на место монтажа;
- установка сборных конструкций птицефабрики ПАО «Боровский» Тюменского района Тюменской области;
- монтаж основного оборудования птицефабрики ПАО «Боровский» Тюменского района Тюменской области в такой последовательности:



- монтаж электродвигателей и сборочных конструкций, аппаратов РУ-0,4 кВ;
- соединение и фазировка первичных силовых цепей птицефабрики ПАО «Боровский» Тюменского района Тюменской области;
- монтаж вторичных цепей коммутации птицефабрики ПАО «Боровский» Тюменского района Тюменской области, включающих монтаж релейной защиты, автоматики, блокировок, сигнализации, телеизмерений, средств учёта и контроля электроэнергии;
- проверка работоспособности полного комплекса птицефабрики ПАО «Боровский» Тюменского района Тюменской области путём детальной «прозвонки» всех сетей и цепей;
- подключение внешних источников питания птицефабрики ПАО «Боровский» Тюменского района Тюменской области;
- пробное включение в работу птицефабрики ПАО «Боровский» Тюменского района Тюменской области под напряжением;
- устранение возможных дефектов, наладка всех цепей и механизмов птицефабрики ПАО «Боровский» Тюменского района Тюменской области;
- приёмо-сдаточные испытания птицефабрики ПАО «Боровский» Тюменского района Тюменской области;
- окончательное включение в работу смонтированного оборудования птицефабрики ПАО «Боровский» Тюменского района Тюменской области;
- составление и согласование акта выполненных работ по монтажу оборудования птицефабрики ПАО «Боровский» Тюменского района Тюменской области.

Все работы по монтажу птицефабрики ПАО «Боровский» Тюменского района Тюменской области проводятся согласно принятых актов и нормативных документов по технике безопасности, технических нормативов и технической документации.

Все работы по непосредственному монтажу птицефабрики ПАО «Боровский» Тюменского района Тюменской области выполняются силами монтажных и ремонтных бригад данной организации.

Если есть необходимость, привлекают сторонних специалистов (в основном, для тонкой наладки оборудования, а также перед вводом объекта в эксплуатацию путём его пробного пуска).

За правильность монтажных работ, а также за техническую исправность смонтированного оборудования и сетей птицефабрики ПАО «Боровский» Тюменского района Тюменской области, несёт ответственность главный инженер птицефабрики.

Далее в работе проводится разработка мероприятий по эксплуатации оборудования вводимого в эксплуатацию оборудования птицефабрики ПАО «Боровский» Тюменского района Тюменской области в результате проведения реконструкции схемы электрических соединений последней.

В работе на птицефабрики ПАО «Боровский» Тюменского района Тюменской области эксплуатация оборудования, вводимого в работу, с учётом модернизации питающей трансформаторной подстанции, состоит из следующих основных блоков:

– периодический надзор и системный осмотр за силовыми трансформаторами питающей подстанции птицефабрики ПАО «Боровский» Тюменского района Тюменской области. При этом проверяется внешний вид трансформаторов, температура обмоток, состояние контактных соединений, отсутствие повреждений, характер гула трансформаторов, отсутствие посторонних предметов, состояние релейной защиты и автоматики. В случае перегрева обмоток, необходимо понизить температуру двумя способами: созданием дополнительного вентиляционного потока и уменьшением нагрузки силовых трансформаторов;

– периодический надзор и системный осмотр за оборудованием РУ-10 кВ на питающей подстанции птицефабрики ПАО «Боровский» Тюменского района Тюменской области. При этом проверяется внешний вид

оборудования, температура корпуса аппаратов, состояние контактных соединений, отсутствие повреждений, отсутствие посторонних предметов, состояние блокировок, а также устройств релейной защиты, автоматики, сигнализации и телемеханики. Особое внимание уделяется отсутствию искрения и посторонних звуков во время срабатывания аппаратуры РУ-10 кВ, которые могут быть причиной выхода оборудования из строя;

– периодический надзор и системный осмотр за оборудованием РУ-0,4 кВ на питающей подстанции и силовых шкафов системы электроснабжения птицефабрики птицефабрики ПАО «Боровский» Тюменского района Тюменской области. При этом проверяется внешний вид оборудования, температура корпуса аппаратов, состояние контактных соединений, отсутствие повреждений, отсутствие посторонних предметов, техническое состояние блокировок. Особое внимание уделяется отсутствию искрения и посторонних звуков во время срабатывания аппаратуры 0,4 кВ, которые могут быть причиной выхода оборудования из строя. При необходимости, проблемный аппарат может быть проверен во время его непосредственной работы под напряжением (в отличии от аппаратов РУ-10 кВ питающей подстанции птицефабрики);

– периодический надзор и системный осмотр за кабельными линиями птицефабрики ПАО «Боровский» Тюменского района Тюменской области. При этом особое внимание уделяется техническому состоянию муфт (соединительных, стопорных и концевых), а также проверяется внешний вид трассы кабельных линий, температура и ток кабелей. В случае перегрева кабельных линий, необходимо понизить температуру двумя способами: созданием дополнительного вентиляционного потока и уменьшением нагрузки кабелей.

Все работы по эксплуатации оборудования птицефабрики ПАО «Боровский» Тюменского района Тюменской области проводятся согласно принятых актов и нормативных документов по технике безопасности, технических нормативов и технической документации.

Также все работы по эксплуатации птицефабрики ПАО «Боровский» Тюменского района Тюменской области выполняются силами эксплуатационных и диспетчерских бригад данной организации.

Кроме того, необходимо проводить согласование сроков и мероприятий эксплуатации с технической документацией заводов-изготовителей оборудования.

Ответственность за эксплуатацию оборудования птицефабрики ПАО «Боровский» Тюменского района Тюменской области, несёт ответственность главный инженер данной организации.

Далее в работе проводится разработка мероприятий по ремонту оборудования вводимого в эксплуатацию нового оборудования системы электроснабжения птицефабрики с учётом питающей подстанции птицефабрики ПАО «Боровский» Тюменского района Тюменской области в результате проведения реконструкции схемы электрических соединений и модернизации оборудования.

Известно, что существуют следующие виды ремонта:

– текущий ремонт – оборудование частично разбирают, приводят в исправное техническое состояние нужные части, узлы и механизмы. Проверки только частичные (по мере необходимости);

– капитальный ремонт – выполняется с полной разборкой оборудования и полной или частичной заменой важнейших узлов и механизмов. Проверки, как правило, полные.

При текущем ремонте оборудование вводимого в эксплуатацию подстанции птицефабрики ПАО «Боровский» Тюменского района Тюменской области проверяют на соответствующее техническое состояние, проводят его частичную разборку, удаление пыли и грязи, смазывают основные механизмы и узлы.

У трансформаторов на питающей понизительной подстанции птицефабрики, особое внимание уделяют состоянию обмоток и

магнитопровода, а также вводов напряжением 10 кВ и 0,4 кВ, проверяя их целостность и работоспособность.

У электрических аппаратов особое внимание уделяют контактными системам, зачищают от грязи и пыли контактные соединения, а также токоведущие части.

У кабельных линий проводят полную проверку и очистку всей трассы, проверку их на допустимый нагрев, а также отсутствие пробоя в линии.

При капитальном ремонте всю питающую подстанцию птицефабрики ПАО «Боровский» Тюменского района Тюменской области снимают с основания и перевозят в ремонтный цех.

При этом полностью разбирают основные узлы и механизмы, заменяют контакты у аппаратов, которые выработали свой ресурс, вводы у трансформаторов.

Также у трансформаторов на питающей подстанции птицефабрики, при капитальном ремонте снимают обмотки и расшихтовывают магнитопровод трансформаторов, где проводят полный осмотр и проверку на наличие «пожара стали», целостности, герметичности и других технических условий.

Все работы по ремонту оборудования и подстанции птицефабрики ПАО «Боровский» Тюменского района Тюменской области проводятся согласно принятых актов и нормативных документов по технике безопасности, технических нормативов и технической документации.

Все ремонтные работы выполняются силами ремонтных бригад данной организации.

Также необходимо проводить согласование сроков и мероприятий по ремонту оборудования с технической документацией заводов-изготовителей оборудования.

Ответственность за ремонт оборудования и питающей подстанции птицефабрики ПАО «Боровский» Тюменского района Тюменской области, несёт ответственность главный инженер данной организации.

Данные мероприятия должны быть приняты к сведению.

Выводы по разделу 2.

В разделе, исходя из задания и принятых решений по реконструкции электрической части объекта исследования, внедрены и проверены расчётным путём принятые мероприятия по вводу в эксплуатацию нового оборудования путём подключения к существующей системе электроснабжения птицефабрики, а также реконструкции системы освещения птицефабрики путём замены устаревших ламп накаливания на современные светодиодные и люминисцентные типы источников света.

Для решения поставленных задач в работе были проведены решение следующих основных задач:

- проектирование электрического освещения птицефабрики с заменой устаревших ламп накаливания на современные светодиодные и люминисцентные лампы;

- определение расчётных электрических нагрузок нового оборудования, вводимого в эксплуатацию на птицефабрике;

- выбор аппаратуры управления и защиты нового оборудования, вводимого в эксплуатацию на птицефабрике;

- выбор и проверка сечения проводников силовой сети нового оборудования, вводимого в эксплуатацию на птицефабрике, а также питающего кабеля от понизительной подстанции объекта;

- разработка мероприятий по монтажу, эксплуатации и ремонту оборудования, вводимого в эксплуатацию.

Описанные мероприятия могут быть приняты к сведению при практической реализации данного проекта.

### 3 Разработка системы автоматического управления микроклиматом

#### 3.1 Разработка и описание элементов системы управления микроклиматом

Далее в работе проводится разработка и описание элементов системы управления микроклиматом птицефабрики.

Как было указано ранее, система управления микроклиматом объекта исследования нуждается в срочной автоматизации.

На начальном этапе на объекте применялось ручное регулирование температуры в помещениях птицефабрики, что не соответствовало требованиям и нормам [12].

«Далее рассматривается более детально каждый из приведенных способов для решения проблемы и данной задачи» [6].

«Подогрев удаляемого воздуха на входе в регенератор (рисунок 4) – малоэкономичен и может применяться в отдельных случаях при соответствующем требовании» [6].

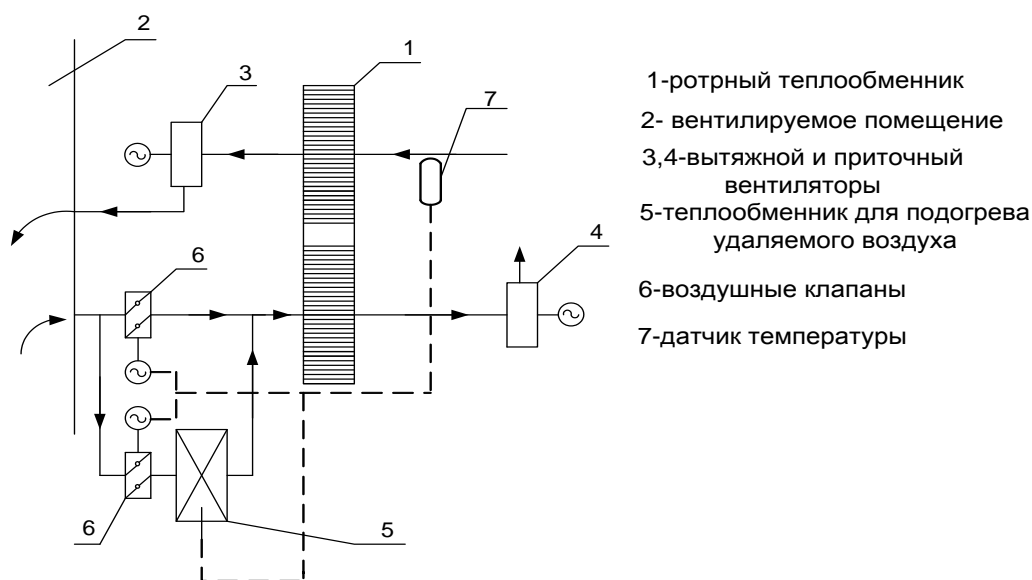


Рисунок 4 – «Принципиальная схема подогрева удаляемого воздуха на входе в регенератор по предотвращению обмерзания вращающегося регенератора и автоматического регулирования системы в зимний период» [6]

Данный способ не подходит для помещений птицефабрики в виду небольшой мощности и низкого КПД.

Поэтому рассматриваются другие способы.

«Байпасирование части наружного воздуха в обход регенератора (рисунок 5) является достаточно простым средством против обмерзания, но ограниченным в области применения, так как падает экономическая эффективность применения роторного теплообменника, из-за того, что становится необходимо применять дополнительный обогрев помещения для поддержания микроклимата» [6].

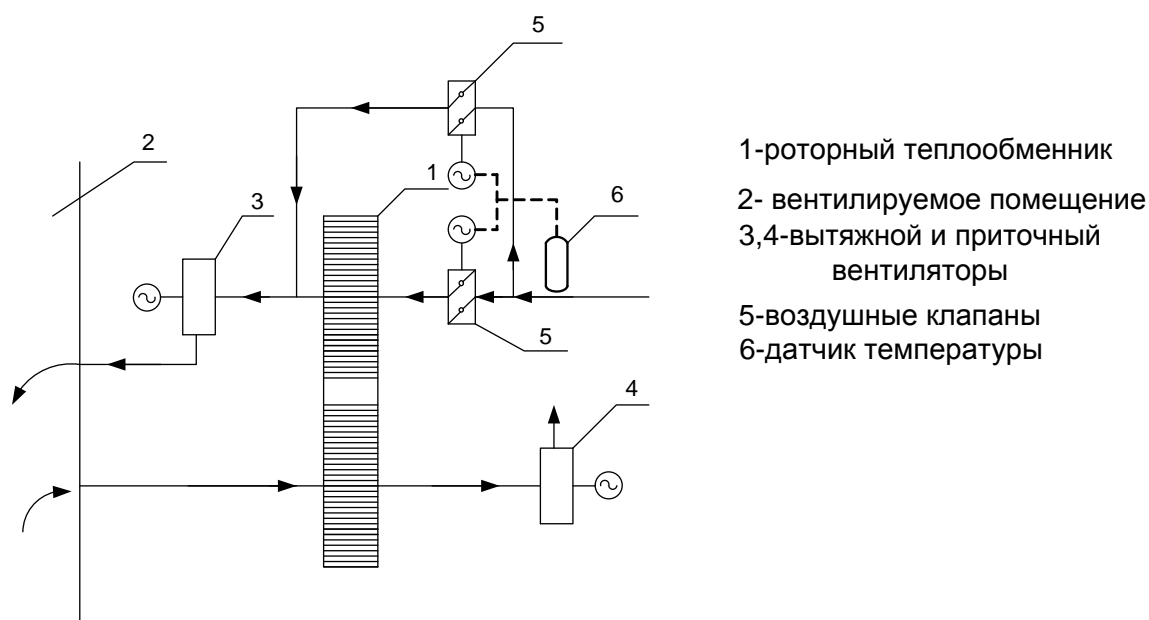


Рисунок 5 – Принципиальная схема перепуска приточного воздуха в обход регенератора

«Подмешивание удаляемого воздуха к наружному перед регенератором (рисунок 6) можно применять, если это допустимо по санитарно-гигиеническим нормам, при небольших отрицательных температурах наружного воздуха» [6].

Однако температура может опуститься в зимнее время значительно ниже нуля, поэтому данный способ регулирования также не принимается в качестве базового.



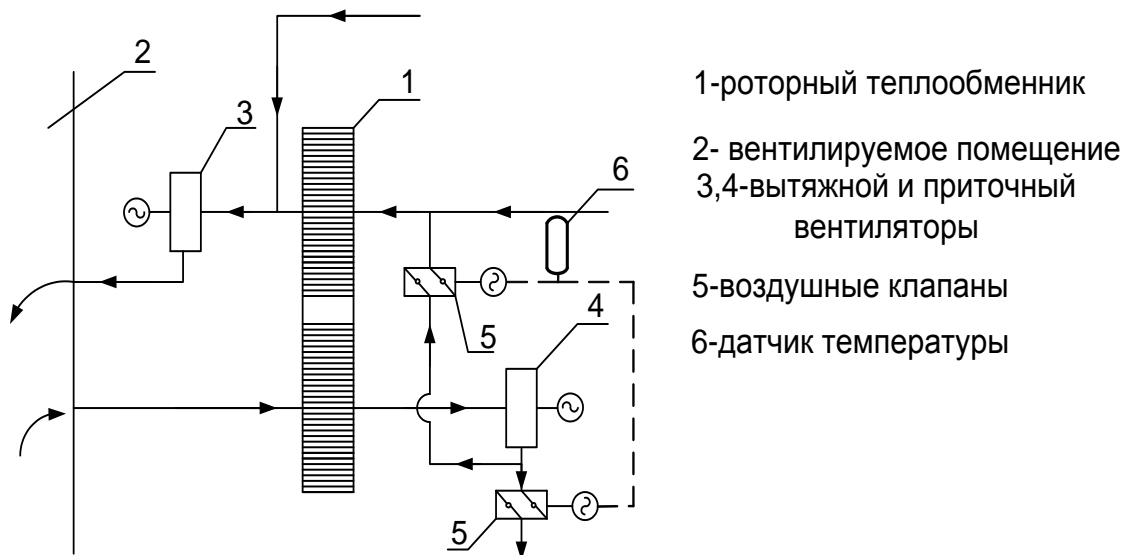


Рисунок 6 – Принципиальная схема подмешивания удаляемого воздуха к наружному перед регенератором

«Подогрев наружного воздуха при помощи калорифера (рисунок 7) является одним из самых оптимальных решений при разработке схемы вентиляции. Максимально эффективно эксплуатируется роторный теплообменник, экономия при дальнейшем отоплении помещения» [6].

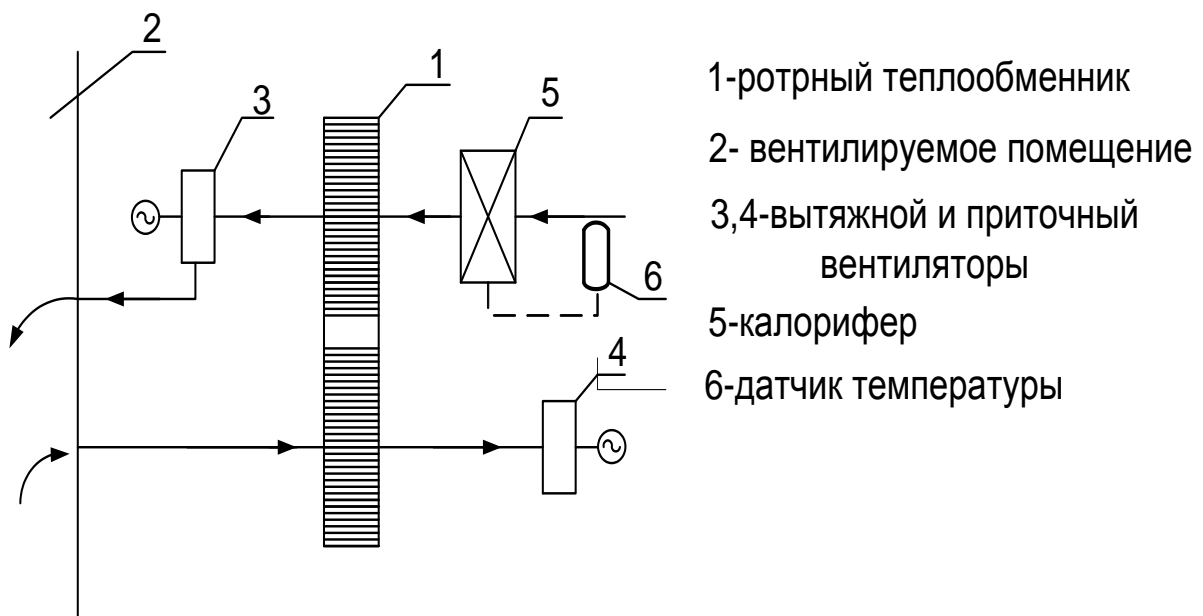


Рисунок 7 – Принципиальная схема подогрева наружного воздуха перед регенератором для предотвращения обмерзания.

Способ, представленный на рисунке 7, имеет максимальную эффективность использования, поэтому принимается в работе за основу.

Выбранное конструктивное решение представлено на листе 3 графической части работы.

### **3.2 Разработка и описание электрической схемы системы управления микроклиматом**

«При включении автомата QF2 питание подается на цепь схемы управления (лист 4 графической части), при включении кнопки SB2 запитывается катушка промежуточного реле KV1, которое своими контактами блокирует пусковую кнопку, замыкает контакты частотных преобразователей и включает сигнальную лампу на лицевой панели щита управления» [18].

«После включения промежуточного реле, начинает работать вся схема: пускатели KM1, KM2, KM3, KM4 и терморегуляторы SK1, SK2. Преобразователь частоты работает согласно настройкам при пусконаладочных работах» [18].

«Терморегуляторы SK1 и SK2 регулируют работу электрокалориферов, включая магнитные пускатели KM5 и KM6 своими контактами SK1 и SK2» [18].

«Одним из самых главных условий разрабатываемой схемы системы управления является плавное и точное регулирование вращения ротора теплообменника, от температуры приточного воздуха» [13].

«Для этого в схему управления внедрён преобразователь частоты ПЧ – С100/5,5 с аналоговым выходом, для контроля температуры и управления процессом теплообмена» [18].

«При достижении минимальной расчетной температуры в системе автоматики предусмотрено включение калорифера для подогрева приточного воздуха» [18].

«Для управления электрокалорифером выбирается терморегулятор фирмы «ОВЕН» ТРМ 251» [18].

«Далее проведён выбор калорифера, вытяжного и приточного вентиляторов, привода ротора теплообменника» [17].

«Усилие, необходимое для вращения ротора теплообменника: для обоих роторов вращающий момент равен 90 Н·м» [18]:

$$M_H = \frac{P}{\omega}, \quad (53)$$

где « $M_H$  – номинальный момент рабочей машины, Н·м» [18].

$$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30}, \quad (54)$$

где « $n$ - число оборотов в минуту, мин<sup>-1</sup>» [12].

«Необходимая мощность для привода» [18]:

$$P = M_H \cdot \frac{\pi \cdot n}{30}. \quad (55)$$

$$P = 90 \cdot \frac{3,14 \cdot 10}{30} = 94,2 \text{ Вт}.$$

«Выбирается электродвигатель АИР 63 В6, P=0,25 кВт, n=1000 мин<sup>-1</sup>» [18].

«Зная необходимый объем циркуляции воздуха в системе вентиляции, выбираются вентиляторы ВО 06-300-6,3, для секции со взрослыми птицами и ВО 06-300-5 для секции с цыплятами» [18].

На каждом теплообменнике устанавливаются одинаковые по производительности вентиляторы [18].

### 3.3 Расчет экономической эффективности разработанной системы управления микроклиматом

«В исходном варианте и проектируемом варианте рассмотрены две разных системы поддержания параметров микроклимата в помещениях птицефабрики» [15].

«При этом, в исходном варианте управление в данной системе осуществлялось в ручном режиме» [15].

«В предложенном в работе варианте предлагается отапливать животноводческое помещение роторным теплообменником, включающим в себя две тепловые секции – СФО - 60 М и СФО - 40 М» [15].

Поэтому сравниваются показатели исходного и предложенного вариантов.

«Капиталовложения в исходном и проектируемом вариантах определяется по формуле» [15]:

$$K = C \cdot K + C_{n.k.}, \quad (56)$$

где « $C$  – цена оборудования, руб.» [15];

« $K$  – коэффициент корректировки» [15];

« $C_{n.k.}$  – стоимость, руб.» [15].

«Капиталовложения в специальную конструкцию вариантов» [15]:

$$C_{n.k.} = C_0 + M_n + H_p + P_n, \quad (57)$$

где  $C_0$  – «цена оборудования, руб.» [15];

$M_n$  – «затраты на монтаж и наладку, руб.» [15];

$H_p$  – «накладные расходы, руб.» [15];

$P_n$  – «плановые накопления, руб.» [15]

Расчёт капиталовложений вариантов проводится, исходя из укрупнённых показателей.

При этом рассматривается базовый вариант методики расчёта составляющих [15].

«Расчет стоимости оборудования, которое входит в систему поддержания параметров микроклимата в помещениях птицефабрики, приведена в таблице 11» [15].

Таблица 11 – «Расчет стоимости оборудования разработки» [15]

Наименование элементов	Ед.	Количество	Цена за 1 шт., руб.	Стоимость, руб.
Преобразователь частоты ПЧ-С 100/5,5	шт.	2	10000,0	20000,0
Светосигнальная арматура ЛС - 47	шт.	9	31,85	286,7
Терморегулятор ОВЕН ТРМ 251	шт.	2	3540,0	7080,0
Термодатчик ТП 2088	шт.	4	980,0	3920,0
Магнитный пускатель ПМЛ - 1100	шт.	3	213,0	639,0
Магнитный пускатель ПМЛ - 2210	шт.	4	938,0	3752,0
Магнитный пускатель ПМЛ - 3100	шт.	2	589,0	1178,0
Кнопка управления АBLF- 22	шт.	2	62,0	124,0
Автомат ВА 47 - 29 1Р 10А	шт.	1	26,0	26,0
Автомат ВА 88 - 33 3Р 160А	шт.	1	1504,0	1504,0
Силовой кабель ВВГ 4× 2,5	м.	300	25,0	7500,0
Силовой кабель ВВГ 3× 10	м	120	86,0	10320,0
Силовой кабель ВВГ 3× 1,5	м	120	15,0	1800,0
Фольга дюралюминиевая	кг.	320	90,0	28800,0
Щит монтажный ЩМП - 50	шт.	1	3436,0	3436,0
Тепловая секция СФО - 60 М	шт.	1	22500,0	22500,0
Тепловая секция СФО - 40 М	шт.	1	16400,0	16400,0
Вентилятор осевой ВО 06 - 300 - 6,3	шт.	2	8250,0	16500,0
Вентилятор осевой ВО 06-300 - 5	шт.	2	6923,0	13846,0
Автомат ВА88 - 37 - 3Р 250 А	шт.	1	4234,0	4234,0
Автомат ВА88 - 33 - 3Р 100А	шт.	1	1598,0	1598,0
Диодный мост 26МВ40А	шт.	2	260,0	520,0
Электродвигатель АИР 63 А6 1000об/мин	шт.	2	1480,0	2960,0
Редуктор 2Ч 63 10	шт.	2	4000,0	8000,0
Всего				176923,7

«Затраты на монтаж и наладку составляют 25% от цены оборудования» [15]

$$M_n = 0,25 \cdot C_0. \quad (58)$$

$$M_{нпр} = 0,25 \cdot 176923,7 = 44230,91 \text{руб.}$$

«Накладные расходы составляют 10% от стоимости оборудования» [15]:

$$H_{нпр} = 0,10 \cdot 176923,7 = 17692,365 \text{руб.}$$

«Плановые накопления определяются по формуле» [15]:

$$П_n = 0,18 \cdot (C_0 + M_n + H_p). \quad (59)$$

$$П_{нпр} = 0,18 \cdot (176923,7 + 44230,91 + 17692,365) = 42992,45 \text{руб.}$$

«Тогда стоимость дополнительного оборудования по поддержанию оптимальных параметров для животных составит» [15]:

$$C_{н.к.нпр} = 176923,7 + 44230,91 + 17692,365 + 42992,45 = 281839 \text{руб.}$$

«Тогда стоимость системы поддержания параметров микроклимата по вариантам составит» [15]:

$$K_{исх} = (95000 + 56000) \cdot 1,2 = 181200,0 \text{руб}$$

$$K_{нпр} = 281839 \text{руб.}$$

«Дополнительные капиталовложения» [15]:

$$K_{дон} = K_{нпр} - K_{исх}, \quad (60)$$

где  $K_{дон}$  – «дополнительные капиталовложения, руб.» [15].

$$K_{дон} = 281839 - 181200 = 100639,0 \text{руб.}$$

«Эксплуатационные затраты включают все расходы по применению технического решения и определяются в исходном и проектируемом варианте» [15]:

$$I_{\text{э}} = Z + A + T_p + G_{\text{газ}} + C_{\text{э}} + П_p, \quad (61)$$

где  $Z$  – «заработная плата обслуживающего персонала с начислениями, руб.» [15];

$A$  – «амортизационные начисления, руб.» [15];

$T_p$  – «отчисления на техническое обслуживание и ремонт, руб.» [15];

$G_{\text{газ}}$  – «годовые затраты на природный газ, руб.» [15];

$C_{\text{э}}$  – «годовые затраты на потребленную электроэнергию, руб.» [15];

$П_p$  – «прочие прямые затраты, руб.» [15].

«Годовая трудоемкость технического обслуживания рассматриваемого оборудования определяется по формуле» [15]:

$$T_{\text{год}} = O \cdot t_{\text{у.е.э.}} \cdot \quad (62)$$

где  $O$  – «объем работ по соответствующему варианту, у.е.э.» [15];

$t_{\text{у.е.э.}}$  – «численное значение одной у.е.э., чел.·ч» [15].

$$t_{\text{у.е.э.}} = 18,6 \text{ чел.} \cdot \text{ч.}$$

«Объем работ определяется табличным способом (таблица 12)» [15].

Таблица 12 – «Объем работ по монтажу и наладке оборудования новой системы управления микроклиматом» [15]

Наименование оборудования	Ед.	Количество		Норма условных единиц	Общее количество усл.ед.	
		исходн	проект.		исходн.	проект.
Теплогенератор	шт.	1	-	7,6	7,6	-
Электрокалорифная установка СФОА-25/05	шт.	1	-	1,5	1,5	-
Электродвигатель до 1 кВт	шт.	-	2	0,67	-	1,34
Электродвигатель от 1,1 до 10 кВт	шт.	-	4	0,92	-	3,68
Тепловые секции	шт.	-	2	3,38	-	6,76
Всего					9,10	11,78

«Условными единицами учтены нагревательные провода, выравнивание потенциалов, аппаратура управления, контроля и защиты» [15].

$$T_{год}^{исх} = 9,10 \cdot 18,6 = 169,26 \text{ чел.} \cdot \text{ч.};$$

$$T_{год}^{np} = 11,78 \cdot 18,6 = 219,11 \text{ чел.} \cdot \text{ч.}$$

$$Z_{осн}^{исх} = 169,26 \cdot 27,93 = 4727,43 \text{ руб.};$$

$$Z_{осн}^{np} = 219,11 \cdot 27,93 = 6119,69 \text{ руб.}$$

«При этом» [15]:

$$Z = Z_{осн} \cdot \alpha_n \cdot \alpha_{доп} \cdot \alpha_{отч}, \quad (63)$$

где « $\alpha_n$  – коэффициент, учитывающий премии по фонду оплаты труда» [15];

« $\alpha_{доп}$  – коэффициент, учитывающий размеры дополнительной оплаты труда» [15];

« $\alpha_{с/с}$  – коэффициент, учитывающий отчисления на виды страхования» [15].

$$Z_{исх} = 4727,43 \cdot 1,4 \cdot 1,12 \cdot 1,20 = 8895,14 \text{ руб.},$$

$$Z_{np} = 6119,69 \cdot 1,4 \cdot 1,12 \cdot 1,20 = 11514,80 \text{ руб.}$$

«Амортизационные отчисления определяется по формуле» [15]:



$$A = \frac{K \cdot H_a}{100}, \quad (64)$$

где « $K$  – балансовая стоимость (капиталовложения) оборудования, руб.» [15];

« $H_a$  – норма амортизационных отчислений по оборудованию, %» [15].

$$H_a = 14,3\%.$$

$$A_{исх} = \frac{181200 \cdot 14,3}{100} = 25911,60 \text{ руб.}$$

$$A_{np} = \frac{281839 \cdot 14,3}{100} = 40302,98 \text{ руб.}$$

«Отчисления на ремонт и техническое обслуживание определяют укрупнено по выражению» [15]:

$$T_p = \frac{K \cdot H_p}{100}, \quad (65)$$

где  $H_p$  – «норматив годовых отчислений на ремонт и техническое обслуживание, %» [15].

$$H_p = 10,6\%.$$

$$T_p^{исх} = \frac{181200 \cdot 10,6}{100} = 19207,20 \text{ руб.}$$

$$T_p^{np} = \frac{281839 \cdot 10,6}{100} = 29874,93 \text{ руб.}$$

«Затраты на природный газ» [15]:

$$G_{газ} = Q_m \cdot t \cdot D \cdot Ц_г, \quad (66)$$

где  $Q_m$  – «расход газа за час работы, м<sup>3</sup>/ч» [15].

$$Q_{\text{мисх}} = Q_{\text{мпр}} = 21,7 \text{ м}^3/\text{ч.};$$

$C_2$  – «стоимость 1 м<sup>3</sup> природного газа, руб.» [15]

$t$  – «число часов работы в день, ч.» [15];

$D$  – «число дней работы в году, дней» [15].

$$G_{\text{газ}}^{\text{исх}} = 21,0 \cdot 24,0 \cdot 180 \cdot 2,959 = 268440,48 \text{ руб.}$$

«Затраты на потребленную электроэнергию» [15]:

$$C_3 = \frac{N \cdot t \cdot D \cdot T_3}{\eta}, \quad (67)$$

где  $N$  – «мощность потребителя, кВт» [15];

$t$  – «число часов работы в день, ч.» [15];

$D$  – «число дней работы в году, дней» [15];

$T_3$  – «стоимость 1 кВт·ч электроэнергии, руб.» [15];

$\eta$  – «кпд потребителя» [15].

«Расчет годового расхода электроэнергии по вариантам приведен в табличной форме (таблица 13)» [15].

Таблица 13 – «Годовой расход электроэнергии» [15]

Наименование оборудования	Мощность, кВт	Годовое потребление электроэнергии, кВт·ч
Проектируемый вариант		
Тепловая секция СФО - 60 М	60,0	86400,0
Тепловая секция СФО - 40 М	40,0	57600,0
Электродвигатели теплообменника	0,5	2160,0
Электродвигатели вентиляторов	10,4	44928,0
Итого		191088,0
Исходный вариант		
Вентилятор	4	11750,4
Форсунка	0,55	1425,60
Электрокалорифер	25,5	110160,0
Итого		123336,0

«Тогда затраты на потребленную электроэнергию по вариантам составят» [15]:

$$C_9^{усх} = 123336,0 \cdot 2,80 = 345340,80 \text{ руб.}$$

$$C_9^{нр} = 191088,0 \cdot 2,80 = 535046,40 \text{ руб.}$$

«Прочие затраты определяют укрупнено по выражению» [15]:

$$П = (0,10 \div 0,15) \cdot (З + А + Т_p + Г_{газ} + C_9). \quad (68)$$

«Проводятся соответствующие расчёты» [15]:

$$П_{усх} = 0,05 \cdot (8895,14 + 25911,60 + 19207,20 + 268440,48 + 345340,80) = 33389,76 \text{ руб.}$$

$$П_{нр} = 0,05 \cdot (11514,80 + 40302,98 + 29874,93 + 0 + 535046,40) = 30836,96 \text{ руб.}$$

$$И_9^{усх} = 8895,14 + 25911,60 + 19207,20 + 268440,48 + 345340,80 + 33389,76 = 701184,98 \text{ руб.}$$

$$И_9^{нр} = 11514,80 + 40302,98 + 29874,93 + 0 + 535046,40 + 30836,96 = 647576,07 \text{ руб.}$$

«Экономическая эффективность применения технического решения выражается годовой экономией эксплуатационных затрат» [15].

$$\mathcal{E}_u = I_9^{усх} - I_9^{нр}; \quad (69)$$

$$\mathcal{E}_u = 701184,98 - 647576,07 = 53608,91 \text{ руб.}$$

«Степень снижения эксплуатационных затрат определяется» [15]:

$$C_m = \frac{I_9^{исх} - I_9^{нр}}{I_9^{исх}} \cdot 100\%. \quad (70)$$

$$C_m = \frac{701184,98 - 647576,07}{701184,98} \cdot 100 = 7,65\%.$$

«Определяются чистые денежные поступления» [15]:

$$\Pi_q = \mathcal{E}_{20d} - \mathcal{E}_{20d} \cdot \alpha_n, \text{ руб.}, \quad (71)$$

где « $\alpha_n$  – налоговая ставка на прибыль» [15].

«В численном виде» [15]:

$$\Pi_q = 53608,91 - 53608,91 \cdot 0,20 = 53608,91 - 10721,78 = 42887,13 \text{ руб.}$$

«Чистый дисконтированный доход можно рассчитать, используя коэффициент суммы дисконтирования» [15]

$$K_{cd} = \frac{(1 + E_p)^t - 1}{E_p \cdot (1 + E_p)^t}, \quad (72)$$

где  $E_p$  – «норма дисконта капитала с поправкой на инфляцию» [15].

$$E_p = \frac{1 + E}{1 + r} - 1, \quad (73)$$

где  $E$  – «ставка процента банка, %» [15];

$r$  – уровень инфляции» [15].

$$E_{p1} = \frac{1 + 0,16}{1 + 0,12} - 1 = 0,035714.$$

$$K_{cd1} = \frac{(1 + 0,035714)^7 - 1}{0,035714 \cdot (1 + 0,035714)^7} = 6,0982778.$$

$$K_{cd2} = \frac{(1 + 0,07)^7 - 1}{0,07 \cdot (1 + 0,07)^7} = 5,3892894.$$

«Чистый дисконтированный доход определяется по методике» [15].

«Тогда по вариантам» [15]:

$$ЧДД_1 = -100639,0 + 57278,51 \cdot 6,0982778 = 248661,27 \text{руб.}$$

$$ЧДД_2 = -100639,0 + 57278,51 \cdot 5,3892894 = 208051,47 \text{руб.}$$

«Результаты расчета чистого дисконтированного дохода при  $E=16\%$ ,  $r=12\%$ , приведены в таблице 14» [15].

Таблица 14 – «Результаты расчета чистого дисконтированного дохода при  $E=16\%$ ,  $r=12\%$ » [15]

Показатели	Года							
	0	1	2	3	4	5	6	7
Приток, руб.	-	54577	54577	54577	54577	54577	54577	54577
Отток, руб.	40382	-	-	-	-	-	-	-
Cash Flow, руб.	-40382	54577	54577	54577	54577	54577	54577	54577
$(1+E_p)^{-t}$	1,00	0,9655	0,9322	0,9001	0,8690	0,8391	0,8101	0,7822
Cash Flow* $(1+E_p)^{-t}$ руб.	-40382	52695	50878	49124	47430	45795	44215	42691
ЧДД руб.	-40382	12313	63192	112316	159746	205540	249756	292447
Всего ЧДД, руб.		248661,27						

«Результаты расчета чистого дисконтированного дохода при  $E_p = 0,07$  приведены в таблице 15.

Таблица 15 – «Результаты расчета чистого дисконтированного дохода  $E_p = 0,07$ » [15]

Показатели	Года							
	0	1	2	3	4	5	6	7
Приток, руб.	-	57279	57279	57279	57279	57279	57279	57279
Отток, руб.	100639	-	-	-	-	-	-	-
Cash Flow, руб.	-100639	57279	57279	57279	57279	57279	57279	57279
$(1+E_p)^{-t}$	1,00	0,9346	0,8734	0,8163	0,7629	0,7130	0,6663	0,6227
Cash Flow* $(1+E_p)^{-t}$ руб.	-100639	53531	50029	46756	43698	40839	38167	35670
ЧДД руб.	-100639	47108	2922	49678	93375	134214	172381	208051
Всего ЧДД, руб.	208051,47							

«Коэффициент доходности дополнительных капиталовложений» [15]:

$$ИД = \frac{ЧДД}{K}, \quad (74)$$

где «ИД - коэффициент доходности капиталовложений» [15].

$$ИД_1 = \frac{248661,27}{100639,0} = 2,47.$$

$$ИД_2 = \frac{208051,47}{100639,0} = 2,07.$$

«Срок окупаемости дополнительных капитальных вложений» [15]:

$$T_{ок} = \frac{-\ln\left(1 - \frac{K_{дон} \cdot E_p}{E_{год}}\right)}{\ln(1 + E_p)}, \text{ лет.} \quad (75)$$

«Расчётный срок окупаемости» [15] проектной разработки – предложенной к внедрению системы автоматического регулирования микроклимата на птицефабрике (в пределах верхней и нижней границ):

$$T_{ок.в} = \frac{-\ln\left(1 - \frac{100639,0 \cdot 0,035714}{57278,51}\right)}{\ln(1 + 0,035714)} = 1,80 \text{ года.}$$

$$T_{ок.н} = \frac{-\ln\left(1 - \frac{100639,0 \cdot 0,07}{57278,51}\right)}{\ln(1 + 0,07)} = 1,94 \text{ года.}$$

Срок окупаемости новой разработки находится в допустимом интервале, поэтому может быть принят за основу.

«Результаты расчета показателей экономической эффективности» [15] представлены предложенной к внедрению системы автоматического регулирования микроклимата на птицефабрике представлена в таблице 16.

Таблица 16 – «Результаты расчета показателей экономической эффективности» [15]

Наименование показателей	Варианты	
	Исходный	Проектный
Капитальные вложения, руб.	181200	281839
Годовые эксплуатационные затраты, руб.	701185	647576
в т. ч. оплата труда, руб.	8895	11515
амортизационные отчисления, руб.	25912	40303
отчисления на ремонт, руб.	19207	29875
природный газ, руб.	268440	–
электроэнергия, руб.	345341	535046
Годовая экономия эксплуатационных затрат, руб.	–	53609
Степень снижения годовых эксплуатационных затрат, %	–	7,65
Чистые денежные поступления, руб.	–	42887
Срок окупаемости дополнительных капитальных вложений, лет	–	1,80 – 1,94
Индекс доходности дополнительных капитальных вложений	–	2,47 – 2,07
Внутренняя норма доходности, %	–	54,11
Чистый дисконтированный доход: при E=16,0%, r=12,0 %, руб.	–	248661
при E <sub>p</sub> = 7,0%, руб.	–	208051

Учитывая срок окупаемости данной разработки, в пределах 1,8-1,94 года, можно сделать вывод, что предложенная к внедрению система автоматического регулирования микроклимата на птицефабрике экономически эффективна. Результаты расчета предложенной к внедрению системы автоматического регулирования микроклимата на птицефабрике приведены на графическом листе 6.

Выводы по разделу 3.

В результате выполнения раздела, проведена разработка системы автоматического регулирования микроклимата на птицефабрике.

Выбран тип схемы, а также разработана принципиальная схема системы автоматического регулирования микроклимата на птицефабрике.

Проведён расчёт экономической эффективности предложенной к внедрению системы автоматического регулирования микроклимата на птицефабрике. Учитывая срок окупаемости в пределах 1,8-1,94 года, можно сделать вывод, что предложенная к внедрению система автоматического регулирования микроклимата на птицефабрике экономически эффективна и поэтому может быть рекомендована к внедрению на объекте исследования.



## Заключение

В результате выполнения работы, разработан и предложен проект по реконструкции системы электроснабжения птицефабрики птицефабрики ПАО «Боровский» Тюменского района Тюменской области.

рассмотрен основной технологический процесс на птицефабрики ПАО «Боровский» Тюменского района Тюменской области.

Приведена характеристика помещений птицефабрики птицефабрики ПАО «Боровский» Тюменского района Тюменской области.

Установлено, что практически все производственные технологические помещения птицефабрики птицефабрики ПАО «Боровский» Тюменского района Тюменской области относятся к опасным и особо опасным с точки зрения электробезопасности. Данную информацию о характеристиках помещений птицефабрики птицефабрики ПАО «Боровский» Тюменского района Тюменской области необходимо учесть в работе далее при решении поставленных задач.

Установлено, что хороший микроклимат на птицефабрике имеет очень важную роль в продуктивности животных, и поэтому на объекте необходимо разработать систему управления и поддержания микроклимата (вентиляция и отопление).

На сегодняшний день этот процесс не автоматизирован, что приводит к значительной потере средств на ручное регулирование микроклимата и общему уменьшению дохода на птицефабрике.

Также в работе, помимо разработки системы автоматического управления микроклиматом, предполагается ввести в эксплуатацию некоторое новое, современное оборудование, которое обеспечит более высокие технические и экономические показатели.

Кроме того, также нужна реконструкция системы освещения птицефабрики, которую планируется осуществить путём замены устаревших

ламп накаливания на современные светодиодные и люминисцентные типы источников света.

Таким образом, установлено, что в мероприятия по реконструкции системы электроснабжения птицефабрики птицефабрики ПАО «Боровский» Тюменского района Тюменской области, необходимо включить:

- разработку системы автоматического управления микроклиматом;
- ввод в эксплуатацию нового оборудования путём подключения к существующей системе электроснабжения птицефабрики;
- реконструкция системы освещения птицефабрики путём замены устаревших ламп накаливания на современные светодиодные и люминисцентные типы источников света.

исходя из задания и принятых решений по реконструкции электрической части объекта исследования, внедрены и проверены расчётным путём принятые мероприятия по вводу в эксплуатацию нового оборудования путём подключения к существующей системе электроснабжения птицефабрики, а также реконструкции системы освещения птицефабрики путём замены устаревших ламп накаливания на современные светодиодные и люминисцентные типы источников света.

Для решения поставленных задач в работе были проведены решение следующих основных задач:

- проектирование электрического освещения птицефабрики с заменой устаревших ламп накаливания на современные светодиодные и люминисцентные лампы;
- определение расчётных электрических нагрузок нового оборудования, вводимого в эксплуатацию на птицефабрике;
- выбор аппаратуры управления и защиты нового оборудования, вводимого в эксплуатацию на птицефабрике;
- выбор и проверка сечения проводников силовой сети нового оборудования, вводимого в эксплуатацию на птицефабрике, а также питающего кабеля от понизительной подстанции объекта;

– разработка мероприятий по монтажу, эксплуатации и ремонту оборудования, вводимого в эксплуатацию.

Описанные мероприятия могут быть приняты к сведению при практической реализации данного проекта.

Проведена разработка системы автоматического регулирования микроклимата на птицефабрике. Выбран тип схемы, а также разработана принципиальная схема системы автоматического регулирования микроклимата на птицефабрике.

Проведён расчёт экономической эффективности предложенной к внедрению системы автоматического регулирования микроклимата на птицефабрике.

Показано, что разработанная система автоматического управления микроклиматом птицефабрики, выполненная с использованием тепловых секций СФО - 60 М и СФО - 40 М, а также теплообменников и вентиляторов, значительно превосходит «стандартный» устаревший вариант, выполненный с использованием вентилятора, форсунки и электрокалорифера как в техническом, так и в экономических показателях.

В виду этого, данная разработка может быть рекомендована к практическому применению в отечественных и зарубежных животноводческих хозяйствах.

Учитывая срок окупаемости в пределах 1,8-1,94 года, можно сделать вывод, что предложенная к внедрению система автоматического регулирования микроклимата на птицефабрике экономически эффективна.

Расчётным путём показано, что внедрённые практические мероприятия по реконструкции птицефабрики ПАО «Боровский» Тюменского района Тюменской области, позволят значительно повысить надёжность схемы электрических соединений системы электроснабжения объекта и потребителей в целом.

## Список используемых источников

1. Автоматические выключатели трехфазные. [Электронный ресурс]: URL: [https://elektrikadeshevo.ru/catalog/avtomaticheskie\\_vyklyuchateli/trekhfaznye/](https://elektrikadeshevo.ru/catalog/avtomaticheskie_vyklyuchateli/trekhfaznye/) (дата обращения: 22.09.2022).
2. Астахов А.С. Краткий справочник по машинам и оборудованию для животноводческих ферм. М.: Колос, 2017. 256 с.
3. Белянчиков Н.П. Механизация животноводческих ферм. М.: Колос, 2019. 360 с.
4. Виноградова А. В. Электроснабжение промышленных предприятий; учебник для студентов высших учебных заведений. М.: Интермет Инжиниринг, 2017. 672 с.
5. Газалов В.С. Светотехника и электротехнология. Часть 1 «Светотехника». Учебное пособие. Зерноград: ФГОУ ВПО АЧГАА, 2018. 268 с.
6. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.
7. Дегтерев Г.П. Справочник по машинам и оборудованию для животноводства. М.: Агропромиздат, 2016. 270 с.
8. Захаров А.А. Применение теплоты в сельском хозяйстве. М.: Агропромиздат, 2018. 287 с.
9. Кудрявцев И.Ф. Электрический нагрев и электротехнология. М.: Колос, 2019. 383 с.
10. Мжельский, Н.И. Справочник по механизации животноводческих ферм /Н.И. Мжельский, А.И. Смирнов. – М.: Колос, 1983. 360 с.
11. Никитенко Г.В. Электрооборудование, электротехнологии и электроснабжение. Дипломное проектирование: Учебное пособие. СПб.: Лань, 2018. 316 с.

12. Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей. 4-е изд., перераб. и доп. М: Энергоатомиздат, 2017. 174 с.
13. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. Госэнергонadzор Минэнерго России. М.: ЗАО «Энергосервис», 2017. 315 с.
14. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). М.: Альвис, 2018. 632 с.
15. Пчелкин С.А. Повышение эксплуатационных и энергетических показателей рекуперативных теплообменников. 2018. 94 с.
16. Райцельский Л.А. Справочник по осветительным сетям. Изд. 3-е пере-раб. и доп. М.: Энергия, 2017. 267 с.
17. Сибикин Ю.Д. Монтаж, эксплуатация и ремонт электрооборудования промышленных предприятий и установок. – Вологда: Инфра-Инженерия, 2017. 464 с.
18. Сибикин, Ю.Д. Электроснабжение. Вологда: Инфра-Инженерия, 2017. 328 с.
19. Справочник по проектированию электрических сетей / под ред. Д.Л. Файбисовича. 4-е изд., перераб. и доп. М.: ЭНАС, 2018. 312 с.
20. Шеховцов В. П. Справочное пособие по электрооборудованию и электроснабжению. М.: Форум, Инфра. 2015. 136 с.