

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 Проектирование системы электроснабжения предприятия агропромышленного  
комплекса

Обучающийся

С.С. Рыженков  
(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., О.В. Самолина

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

Тольятти 2024

## Аннотация

В рамках выпускной квалификационной работы разработан проект электроснабжения агропромышленного комплекса – молочно-товарной фермы полного цикла производства сырого молока.

Представлено подробное описание агропромышленного сектора и дана классификация сельскохозяйственной продукции позволяющий сделать вывод о соответствии молочно-товарной фермы полного цикла производства сырого молока предприятиям агропромышленного комплекса.

Выполнен анализ технологии производства сырого молока на объекте и представлено описание помещений молочно-товарной фермы с отнесением их к соответствующим категориям надежности электроснабжения.

Выполнен подробный расчет нагрузок здания коровника на 200 голов КРС с учетом системы вентиляции, отопления, освещения и удаления навоза.

Выполнен расчет электрических нагрузок молочно-товарной фермы методом удельной мощности и построена картограмма нагрузок для определения места расположения трансформаторной подстанции. Для трансформаторной подстанции выбраны два силовых трансформатора мощностью 630 кВА.

Пояснительная записка представлена на 76 листах формата А4, содержит 16 рисунков и 22 таблицы. Список используемых источников содержит 23 наименования. Графическая часть выпускной квалификационной работы отражена на 6 листах формата А1 выполненных с использованием САПР Компас 22.

## Содержание

Введение .....	4
1 Характеристика объекта.....	7
1.1 Анализ географического расположения объекта .....	7
1.2 Компоновка объекта .....	9
1.3 Внешнее электроснабжение объекта .....	10
2 Определение расчетных нагрузок молочно-товарной фермы.....	13
2.1 Определение расчетной мощности коровника.....	13
2.2 Определение расчетной мощности молочной фермы .....	34
3 Выбор трансформаторов молочно-товарной фермы .....	44
4 Внешнее электроснабжение молочно-товарной фермы .....	54
5 Распределение электрической энергии .....	59
5.1 Распределение электроэнергии по территории МТФ .....	59
5.2 Распределительная сеть коровника на 200 голов КРС .....	62
5.3 Выбор коммутационных и защитных аппаратов распределительной сети коровника .....	68
Заключение .....	70
Список используемой литературы и используемых источников .....	74

## Введение

Предприятия агропромышленного сектора достаточно разнообразны. К предприятиям агропромышленного сектора относятся все виды предприятий, занимающихся производством, выращиванием, переработкой, хранением, транспортировкой и реализацией сельскохозяйственной продукции. В целом, перечень сельскохозяйственной продукции определен постановлением правительства РФ [16].

В целом к сельскохозяйственной продукции согласно [16] относятся:

- зерновые и зернобобовые культуры;
- технические культуры;
- клубнеплодные, овощные, бахчевые культуры и продукция закрытого грунта;
- кормовые культуры полевого возделывания, продукция кормопроизводства прочая;
- продукция садов, виноградников, многолетних насаждений и цветоводства;
- продукция скотоводства;
- продукция свиноводства;
- продукция овцеводства и козоводства;
- продукция птицеводства;
- продукция коневодства, ослов и мулов;
- продукция оленеводства и верблюдоводства;
- продукция кролиководства, пушного звероводства;
- продукция рыбоводства, пчеловодства, шелководства, искусственного осеменения;
- продукция прочего животноводства;
- продукция рыбная пищевая товарная.

Согласно оценкам ООН [13] население Земли в следующие 30 лет возрастет на 2 млрд. человек. При этом серьезно увеличится потребность в

продукции агропромышленного сектора. При этом необходимо максимально повысить эффективность производства сельскохозяйственной продукции, то есть вырабатывать большее число продукции на той же территории агропромышленных комплексов. Для решения этой задачи необходимо использовать современные научные подходы к повышению выработки отдельных видов сельскохозяйственной продукции с совершенствованием технологий переработки, транспортировки, хранения и реализации сельскохозяйственной продукции.

Рассматривая текущий уровень развития агропромышленного сектора России по данным Министерства промышленности и торговли РФ [18] агропромышленный комплекс имеет наиболее высокие показатели, так в 2022 году рост производства в агропромышленном секторе в среднем составил 10%. Такие же показатели были достигнуты и в 2023 году. Подобный рост достигается в первую очередь за счет государственного субсидирования предприятий агропромышленного комплекса и возможностью внедрения предприятиями современных технологий, повышающих их эффективность.

В рамках выполнения выпускной квалификационной работы рассмотрен вопрос разработки энергоэффективного проекта электроснабжения молочно-товарной фермы, как агропромышленного предприятия по производству сырого молока. Объект выпускной квалификационной работы – молочно-товарная ферма является агропромышленным предприятием полного цикла. На предприятии выполняется не только выработка сырого молока, но также обеспечивается сбор, хранение и выработка кормов для молочного, племенного и ремонтного стада.

Целью выпускной-квалификационной работы является проектирование системы электроснабжения предприятия агропромышленного комплекса – молочно-товарной фермы.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- проанализировать технологический процесс молочно-товарной фермы и определить состав помещений молочно-товарной фермы с их классификацией по категориям надежности электроснабжения;
- выполнить расчет электрических нагрузок помещений молочно-товарной фермы и всего предприятия в целом;
- провести выбор необходимого электротехнического и высоковольтного оборудования системы электроснабжения молочно-товарной фермы;
- выполнить графическую часть выпускной квалификационной-работы с отображением всех принятых в рамках выполнения выпускной-квалификационной работы проектных решений.

При выполнении выпускной квалификационной работы необходимо строго придерживаться действующих правил, стандартов и рекомендаций для проектирования объектов агропромышленного комплекса. При разработке проектных решений следует учитывать особенности технологического процесса включающего производство сырого молока, а также содержание крупного-рогатого скота. При выборе оборудования необходимо отдавать предпочтение оборудованию производимому на территории РФ с высокой степенью локализации.

## **1 Характеристика объекта**

Объектом выпускной квалификационной работы является молочно-товарная ферма. Расположение объекта выпускной квалификационной работы предусматривается в Самарской области.

### **1.1 Анализ географического расположения объекта**

Самарская область в настоящее время является региональным импортером молока и молочной продукции. Молоко и молочные продукты импортируются в Самарскую область из регионов с более развитым сельским хозяйством, в том числе с производством сырого молока и молочной продукции:

- Республика Татарстан;
- Удмуртская Республика;
- Республика Башкортостан.

В настоящее время в Самарской области производится порядка 50% от полной потребности региона в молоке и молочной продукции [9]. Согласно [23] регионы должны на 90% покрывать потребность, в том числе в молоке и молочной продукции, на 90% за счет собственных товаропроизводителей. Исходя из этого тема выпускной квалификационной работы является актуальной.

Наиболее развитыми муниципальными районами Самарской области с точки зрения производства молока и молочной продукции являются:

- Кинель-Черкасский муниципальный район (Рисунок 1, позиция 11);
- Челно-Вершинский муниципальный район (Рисунок 1, позиция 25);
- Шигонский муниципальный район (Рисунок 1, позиция 27).

Так как объект выпускной квалификационной работы является объектом учебного проектирования, то окончательно, месторасположения молочно-товарной фермы выберем в муниципальном районе Кинель-Черкасский, с. Кинель-Черкасы.



Рисунок 1 - Деление Самарской области по муниципальным районам

В выбранном районе размещения объекта выпускной квалификационной работы – молочно-товарной фермы климат можно охарактеризовать как влажный континентальный. Самые высокие температуры наблюдаются в августе. Средняя температура августа: 26,7°C. Наиболее холодным месяцем является январь со среднедневной температурой: -11,3°C. На рисунке 2 показано распределение направления ветровой нагрузки в году, по данным рисунка 2 в с. Кинель-Черкассы преобладает ветра Южного и Юго-Западного направлений.



Рисунок 2 - Относительное годовое распределение ветровой нагрузки



В целом климат с. Кинель-Черкассы можно назвать благоприятным для размещения объектов агропромышленного производства, в том числе, молочно-товарных ферм.

## 1.2 Компоновка объекта

Объект выпускной квалификационной работы – молочно-товарная ферма является агропромышленным предприятием полного цикла. На предприятии выполняется не только выработка сырого молока, но также обеспечивается сбор, хранение и выработка кормов для молочного, племенного и ремонтного стада. Генеральный план молочно-товарной фермы составленный согласно [10] и [12] представлен на рисунке 3.

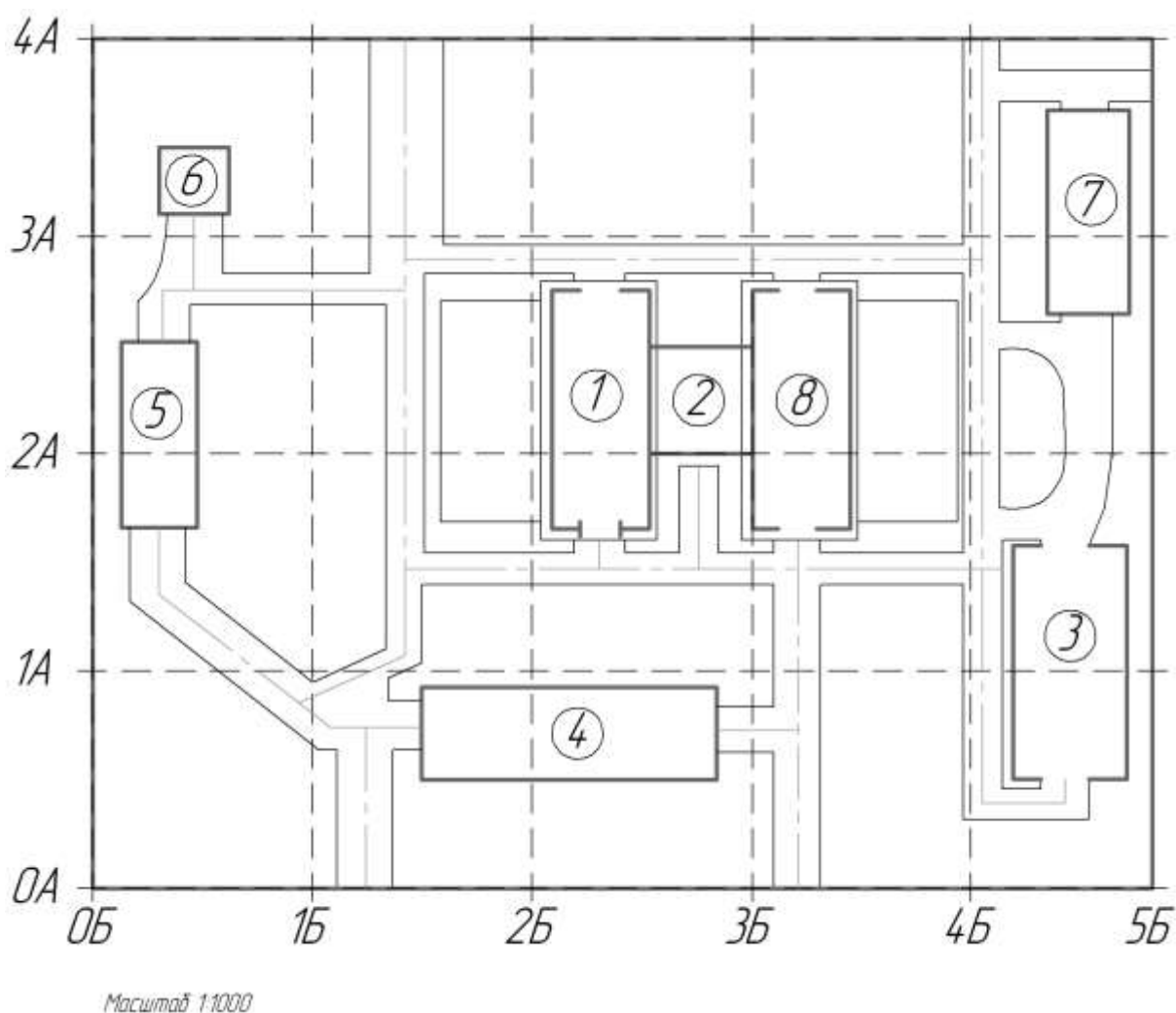


Рисунок 3 - Генеральный план молочно-товарной фермы

Площадь территории, занимаемой объектами, относящимися к молочно-товарной ферме (МТФ), составляет  $S_{\text{МТФ}} = 16720,7$  (м<sup>2</sup>).

Наименование объектов МТФ согласно генеральному плану (рисунок 3) представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Объекты молочно-товарной фермы

Позиция на генеральном плане	Наименование объекта	Площадь объекта, м <sup>2</sup>	Категория надежности электроснабжения
1	Коровник на 200 голов КРС	432,37	II
2	Молочный блок на два коровника	204,13	II
3	Хранилище сена	495,25	III
4	Хранилище навоза	508,33	III
5	Сенажная траншея	263,26	III
6	Башня водонапорная	86,36	II
7	Траншея силосная	309,9	III
8	Коровник на 200 голов КРС	432,37	II

Основными объектами молочно-товарной фермы являются коровники на 200 голов КРС, в которых содержится основное молочное стадо фермы производства сырого молока, а также присутствует родильный блок и блок содержания молодняка. Совместная компоновка родильного блока, блока для молодняка и основного стада позволяет сократить затраты на перемещение КРС и молодняка между объектами МТФ.

### 1.3 Внешнее электроснабжение объекта

В с. Кинель-Черкассы расположена подстанция 110/10 кВ Черкассы, относящейся к ПАО «Россети Волга» - Филиал «Самарские распределительные сети». Обслуживающим РЭС является Волжское ПО. Расположение подстанции 110/10 кВ «Черкассы» показано на рисунке 4.

На подстанции 110/10 кВ «Черкассы», введенной в эксплуатации. В 1992 году, установлено два силовых двухобмоточных трансформатора марки ТДТН 25000/110/10 кВ. Установленная мощность подстанции составляет:

$$S_{\text{уст.ПС}} = S_{\text{ном.Т1}} + S_{\text{ном.Т2}} = 25000 + 25000 = 50000 \text{ (кВА)} \quad (1)$$

где  $S_{\text{ном.Т1}}$ ,  $S_{\text{ном.Т2}}$  – номинальные мощности трансформаторов Т1 и Т2 подстанции, согласно [5] принято  $S_{\text{ном.Т1}} = S_{\text{ном.Т2}} = 25000 \text{ (кВА)}$ .

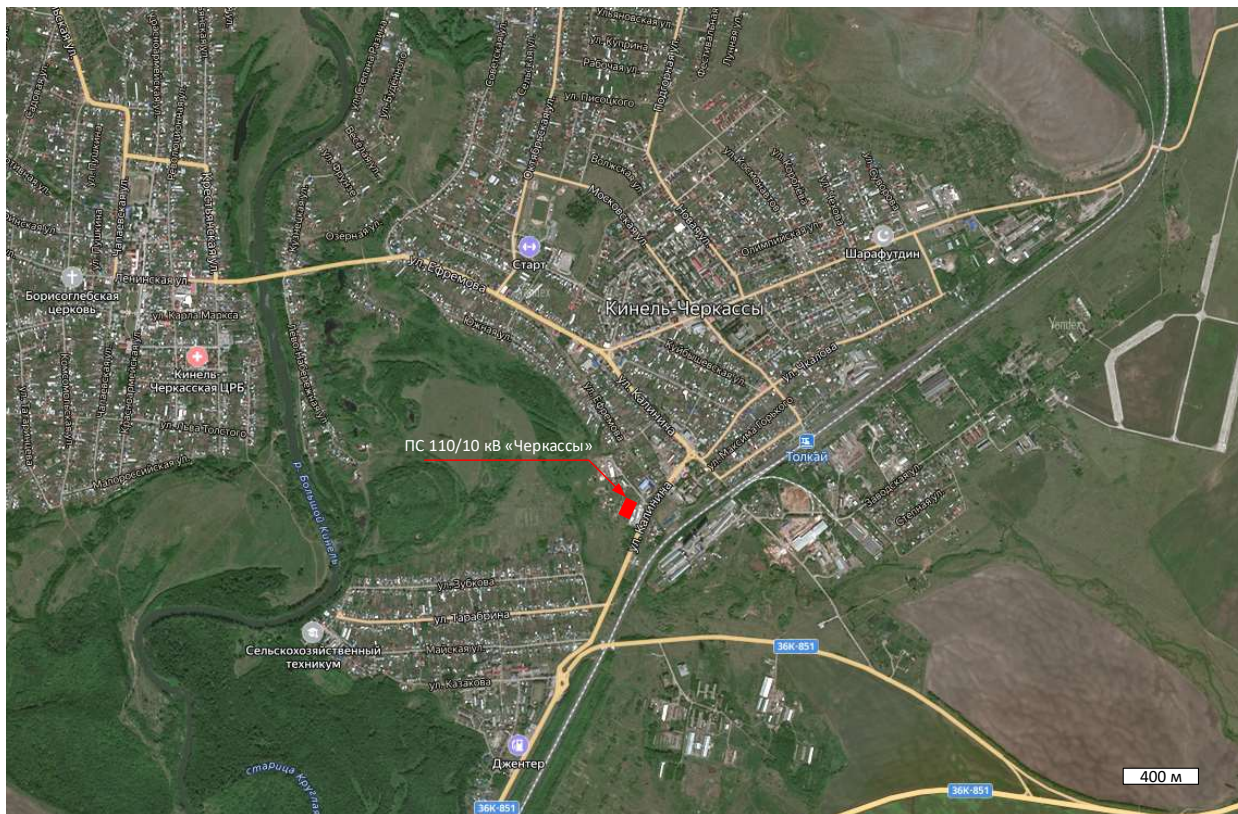


Рисунок 4 - Расположение подстанции 110/10 кВ «Черкассy»

Согласно [6] для подстанции «Черкассy» 110/10 кВ нет в настоящее время заявок на технологическое присоединение и на подстанции свободна для подключения  $S_{\text{свобод.ПС}} = 11630 \text{ (кВА)}$ . Исходя из этого, молочно-товарная ферма может быть запитана от подстанции 110/10 кВ «Черкассy».

Выводы по разделу.

В первом разделе выпускной квалификационной работы определено место положение объекта – молочно-товарной фермы. Объект ВКР расположен в Самарской области, Кинель-Черкасский муниципальном районе, с. Кинель-Черкассy. Выбор места расположения объекта ВКР определено исходя из развитости муниципального района Кинель-Черкасский с точки зрения сельскохозяйственных производств, а также с точки зрения

благоприятного климата в районе, способствующего продуктивной выработке сырого молока на объекте ВКР.

Определен генеральный план молочно-товарной фермы и размещения всех объектов фермы на территории. Общая площадь, занимаемая молочно-товарной фермой, составила  $S_{\text{МТФ}} = 16720,7 \text{ (м}^2\text{)}$ . Основными производственными помещениями МТФ являются два коровника на 200 голов КРС.

Рассмотрено внешнее электроснабжение с. Кинель-Черкассы. Определено, что на территории с. Кинель-Черкассы расположена подстанция 110/10 кВ «Черкассы» с установленной мощностью  $S_{\text{уст.ПС}} = 50 \text{ (МВА)}$ .

На подстанции 110/10 кВ «Черкассы» свободно для подключения  $S_{\text{свобод.ПС}} = 11,63 \text{ (кВА)}$ . Исходя из этого, подстанция 110/10 кВ «Черкассы» может быть использована как источник внешнего электроснабжения для проектируемой системы электроснабжения молочно-товарной фермы.

## 2 Определение расчетных нагрузок молочно-товарной фермы

Расчет электрических нагрузок молочно-товарной фермы выполняется на первом этапе проектирования системы электроснабжения и позволяет выбрать компоновку распределительной сети, определить место расположения трансформаторной подстанции, выбрать требуемую мощность и число трансформаторов подстанции, а также выполнить выбор сечения питающих линий.

### 2.1 Определение расчетной мощности коровника

На объекте выпускной квалификационной работы расположено два помещения – коровник на 200 голов КРС. План коровника на 200 голов КРС представлен на рисунке 5. Экспликация помещений коровника (рисунок 5) представлена в таблице 2.

Таблица 2 - Экспликация помещений коровника на 200 голов КРС

Номер помещения на плане коровника	Наименование помещения
1	Стойловое помещение
2	Помещение для подстилки
3	Подсобное помещение
4	Помещение для хранения инвентаря
5	Тамбур
6	Помещение установки удаления навоза
7	Вентиляционная камера вытяжной вентиляции

Коровники относятся к помещениям основного производства сырого молока. Оба коровника имеют одинаковую планировку и компоновку, поэтому предлагается выполнить подробный расчет нагрузок коровника на 200 голов КРС.

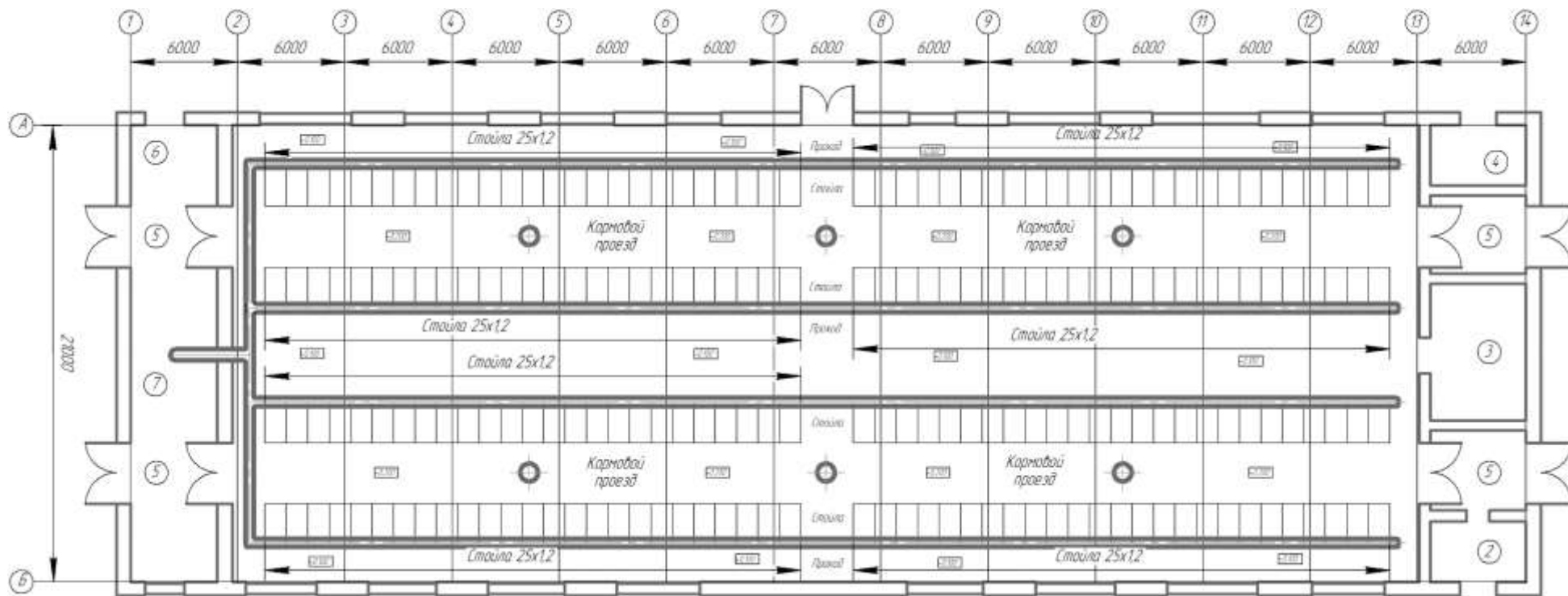


Рисунок 5 - План коровника на 200 голов КРС

Для коровника на 200 голов КРС основными потребителями электрической энергии являются:

- установки вентиляции;
- установки отопления;
- установки освещения.

Все оборудование, обеспечивающее дойку, сбор и хранение сырого молока относится к молочному блоку, выполненному на два коровника.

Для определения электрических нагрузок на вентиляцию, отопление и освещение коровника на 200 голов необходимо выполнить расчет требуемой мощности на отопление и вентиляцию, а также выбрать наиболее подходящее оборудование. Исходные данные для расчета мощности и выбора электрооборудования систем вентиляции и отопления помещения коровника на 200 голов КРС, определяемые архитектурными и планировочными решениями представлены в таблице 3.

Таблица 3 - Исходные данные для расчета нагрузок помещения коровника на 200 голов КРС

Наименование параметра	Обозначение	Единица измерения	Значение
Объем коровника на 200 голов КРС	$V_{кор.}$	$м^3$	2114,196
Температура внутри помещения коровника на 200 голов КРС	$t_{вн.пом}$	$°C$	15
Максимальная температура наружного воздуха	$t_{нар.}$	$°C$	-26
Величина воздухообмена в здании коровника на 200 голов КРС	$L_{кор}$	$\frac{м^3}{ч}$	5587,8
Площадь смачиваемых поверхностей	$F_{см.п}$	$м^2$	400
Площадь наружных канализационных каналов	$F_{н.кан}$	$м^2$	200
Скорость приточного воздуха для системы вентиляции	$v_{пв}$	$\frac{м}{с}$	12
Сопротивление системы вентиляции приходу воздуха	$R_{пв}$	Па	78
Потери в трубопроводах приточной вентиляции	$H_{пв}$	Па	116
Значение местных сопротивлений установки приточной вентиляции	$H_{мс}$	Па	340

Расчет мощности отопления коровника ( $Q_{от}$ ) на 200 голов КРС необходимо выполнить на основании уравнения теплового баланса помещения:

$$Q_{от} = Q_{огр.к} + Q_{вент.} + Q_{исп.} - Q_{крс} \quad (2)$$

где  $Q_{огр.к}$  – величина тепловых потерь через ограждающие конструкции, кДж/ч;

$Q_{вент.}$  – потери тепла через систему вентиляции коровника, кДж/ч;

$Q_{исп.}$  – количество тепла, затрачиваемого на испарение, кДж/ч;

$Q_{крс}$  – количество тепла, выделяемого животными, кДж/ч.

Величина тепловых потерь через ограждающие конструкции ( $Q_{огр.к}$ ) для коровника на 200 голов КРС:

$$Q_{огр.к} = q_{от} \cdot V_{кор.} (t_{вн.пом} - t_{нар.}) \quad (3)$$

где  $q_{от}$  – удельная отопительная характеристика здания коровника. Для

рассматриваемого коровника  $q_{от} = 4 \frac{\text{кДж}}{\text{м}^3 \cdot \text{ч}}$ ;

$V_{кор.}$  – объем коровника, принимаем на основании данных таблицы 3

$V_{кор.} = 2114,196 \text{ (м}^3\text{)}$ ;

$t_{вн.пом}$  – требуемая температура внутри помещения коровника, принимаем на основании данных таблицы 3  $t_{вн.пом} = 15 \text{ }^\circ\text{C}$ ;

$t_{нар.}$  – наружная температура воздуха для наиболее холодных суток, для с. Кинель-Черкассы принимаем на основании данных таблицы 3

$t_{нар.} = -26^\circ\text{C}$ .

По (3) получим:

$$Q_{огр.к} = 4 \cdot 2114,196 \cdot (15 + 26) = 219936,4 \left( \frac{\text{кДж}}{\text{ч}} \right)$$



Теплопотери через систему вентиляции ( $Q_{\text{вент.}}$ ) определяются по выражению:

$$Q_{\text{вент.}} = L_{\text{кор}} \cdot C_V (t_{\text{вн.пом}} - t_{\text{нар.}}) \quad (4)$$

где  $L_{\text{кор}}$  – значение воздухообмена в здании коровника на 200 голов КРС.

Принимаем на основании данных таблицы 3  $L_{\text{кор}} = 5587,8 \left(\frac{\text{м}^3}{\text{ч}}\right)$ ;

$C_V$  – объемная теплоемкость  $C_V = 1,29 \left(\frac{\text{кДж}}{\text{м}^3 \cdot \text{К}}\right)$ ;

$t_{\text{вн.пом}}$  – требуемая температура внутри помещения коровника, принимаем на основании данных таблицы 3  $t_{\text{вн.пом}} = 15 \text{ }^\circ\text{C}$ ;

$t_{\text{нар.}}$  – наружная температура воздуха для наиболее холодных суток, для с. Кинель-Черкасы принимаем на основании данных таблицы 3  $t_{\text{нар.}} = -26 \text{ }^\circ\text{C}$ .

По (4) получим:

$$Q_{\text{вент.}} = 5587,8 \cdot 1,29(15 + 26) = 295538,7 \left(\frac{\text{кДж}}{\text{ч}}\right)$$

Количество тепла, затрачиваемого на испарение ( $Q_{\text{исп.}}$ ) со смоченных поверхностей, определяется укрупненно согласно [21] по выражению:

$$Q_{\text{исп.}} = 0,69(\omega_{\text{исп}}^{\text{см}} \cdot F_{\text{см.п}} + \omega_{\text{исп}}^{\text{см}} \cdot F_{\text{н.кан}}) \quad (5)$$

где  $\omega_{\text{исп}}^{\text{см}}$  – значение интенсивности испарения. Для помещения коровника принимается  $\omega_{\text{исп}}^{\text{см}} = 11 \left(\frac{\text{г}}{\text{ч} \cdot \text{м}^2}\right)$ ;

$F_{\text{см.п}}$  – площадь смачиваемых поверхностей. Принимаем на основании данных таблицы 3  $F_{\text{см.п}} = 400 \text{ (м}^2\text{)}$ ;

$F_{\text{н.кан}}$  – площадь наружных канализационных каналов. Принимаем на основании данных таблицы 3  $F_{\text{н.кан}} = 200 \text{ (м}^2\text{)}$ .

По (5) получим:

$$Q_{\text{исп.}} = 0,69(11 \cdot 400 + 11 \cdot 200) = 7590 \left( \frac{\text{кДж}}{\text{ч}} \right)$$

Количество теплоты, выделяемое животными ( $Q_{\text{КРС}}$ ) определяется по выражению:

$$Q_{\text{КРС}} = q_0^{\text{КРС}} \cdot N \cdot k_i \quad (6)$$

где  $q_0^{\text{КРС}}$  – количество тепла, выделяемого одним животным. Принимаем

$$q_0^{\text{КРС}} = 2380 \left( \frac{\text{кДж}}{\text{ч}} \right);$$

$N$  – число голов КРС в помещении. Принимаем  $N = 200$  (шт);

$k_i$  – коэффициент, учитывающий тепловыделение одного животного в зависимости от внутренней температуры внутри помещений.

Принимаем равным  $k_i = 0,07$ .

По (6) получим:

$$Q_{\text{КРС}} = 2380 \cdot 200 \cdot 0,7 = 33320 \left( \frac{\text{кДж}}{\text{ч}} \right)$$

Используя выражение (2) с учетом значений полученных в (3) - (6) получим:

$$Q_{\text{от}} = 219936,4 + 295538,7 + 7590 - 33320 = 489745,1 \left( \frac{\text{кДж}}{\text{ч}} \right)$$

Далее необходимо определить полезную мощность отопительного устройства для помещения коровника на 200 голов КРС. Полезная мощность отопительного устройства определяется по выражению:

$$P'_{от} = \frac{Q_{от}}{3600 \cdot \eta_{уст}} \quad (7)$$

где  $Q_{от}$  – расчетное значение мощности отопления, полученное по выражению (2). Принимаем  $Q_{от} = 489745,1 \left( \frac{\text{кДж}}{\text{ч}} \right)$ ;  
 $\eta_{уст}$  – КПД отопительной установки. Так как в коровнике предлагается использовать электрокалориферы, то  $\eta_{уст} = 0,95$ .

По (7) для помещения коровника на 200 голов КРС получим:

$$P'_{от} = \frac{489745,1}{3600 \cdot 0,95} = 143,3 \text{ (кВт)}$$

Анализ каталогов отечественных производителей промышленных электрокалориферов позволил определить, что к установке в коровнике могут быть приняты четыре электрических калорифера марки ЭКО-40 (СФО) с номинальной мощностью  $P_{ном}^{ЭКО} = 45$  (кВт). Учитывая число  $n^{ЭКО} = 4$  (шт) и мощность устанавливаемых электрических калориферов проверим выполнение условия:

$$P'_{от} < P_{ном}^{ЭКО} \cdot n^{ЭКО} \quad (8)$$

$$143,3 < (45 \cdot 4) = 180 \text{ (кВт)}$$

Условие (8) выполняется, следовательно номинальная электрическая мощность системы отопления здания коровника на 200 голов КРС составляет  $P_{от}^{КОР} = 180$  (кВт).

Далее необходимо определить мощность установки вентиляции для здания коровника на 200 голов КРС. Для определения типа, числа и мощности электрических двигателей системы вентиляции используем данные, представленные в таблице 3.

Определим требуемое значение напора вентилятора для системы приточной вентиляции помещения коровника на 200 голов КРС по выражению:

$$P_{\text{вент}} = H_{\text{пв}} + H_{\text{мс}} + R_{\text{пв}} \quad (9)$$

где  $H_{\text{пв}}$  – потери в трубопроводах приточной вентиляции. Согласно данным таблицы 3 принимаем  $H_{\text{пв}} = 116$  (Па);

$H_{\text{мс}}$  – значение местных сопротивлений установки приточной вентиляции. Согласно исходным данным представленных в таблице 3 принимаем  $H_{\text{мс}} = 340$  (Па);

$R_{\text{пв}}$  – сопротивление системы вентиляции приходу воздуха. Согласно данным таблицы 3 принимаем  $R_{\text{пв}} = 78$  (Па).

По (9) получим:

$$P_{\text{вент}} = 116 + 340 + 78 = 534 \text{ (Па)} \quad (10)$$

Расчетное значение подачи вентилятора системы приточной вентиляции здания коровника на 200 голов КРС определяется по выражению:

$$Q_{\text{вент}} = 1,1 \cdot L_{\text{кор}} = 1,1 \cdot 5587,8 = 6146,58 \left( \frac{\text{м}^3}{\text{ч}} \right)$$

Используя номограммы различных типов центробежных вентиляторов для систем вентиляции представленные в [2] по расчетным значениям  $Q_{\text{вент}} = 6146,58 \left( \frac{\text{м}^3}{\text{ч}} \right)$  и  $P_{\text{вент}} = 534$  (Па) принимаем к установке в систему вентиляции коровника на 200 голов КРС вентилятор ВЦ 4-70-4. Согласно номограммам представленным в [2] КПД выбранного вентилятора для расчетных условий

составляет 71%, частота вращения 1450 об/мин. Определим расчетную мощность на валу привода выбранного вентилятора по выражению:

$$P_{\text{пр.в}} = k_{\text{зап}} \frac{Q_{\text{н.вент}} \cdot P_{\text{н.вент}}}{3600 \cdot 1000 \cdot \eta_{\text{вент}} \cdot \eta_{\text{пер}}} \quad (11)$$

где  $k_{\text{зап}}$  – коэффициент запаса. Принимаем  $k_{\text{зап}} = 1,5$ ;

$Q_{\text{н.вент}}$  – производительность вентилятора, определенная по номограмме из [2]. Принимаем  $Q_{\text{н.вент}} = 6200 \left(\frac{\text{м}^3}{\text{ч}}\right)$ ;

$P_{\text{н.вент}}$  – подача выбранного вентилятора, определенная по номограмме из [2]. Принимаем  $P_{\text{н.вент}} = 550$  (Па);

$\eta_{\text{вент}}$  – коэффициент полезного действия вентилятора. Принимаем  $\eta_{\text{вент}} = 0,71$ ;

$\eta_{\text{пер}}$  – коэффициент полезного действия для передаточного механизма. Принимаем  $\eta_{\text{пер}} = 0,94$ .

По (11) получим:

$$P_{\text{пр.в}} = 1,5 \cdot \frac{6200 \cdot 550}{3600 \cdot 1000 \cdot 0,71 \cdot 0,94} = 2,13 \text{ (кВт)}$$

Исходя из полученного расчетного значения  $P_{\text{пр.в}} = 2,13$  (кВт) выбираем асинхронный электрический двигатель АИР-90L4-X2. Электрические параметры выбранного асинхронного электрического двигателя представлены в таблице 4.

Таблица 4 - Паспортные данные двигателя АИР-90L4-X2

Наименование параметра	$P_{\text{ном.АД}}$	$n_{\text{ном}}$	$\eta_{\text{АД}}$	$\cos \varphi$	$I_{\text{ном}}$	$K_{\text{п}}$	$m_{\text{п}}$	$m_{\text{max}}$	$m_{\text{min}}$
Единица измерения	кВт	об/мин	%	-	А	-	-	-	-
Паспортное значение	2,20	1420	79,7	0,79	5,3	6,0	2,0	2,4	2,0

Для определения мощности системы освещения коровника на 200 голов КРС воспользуемся специализированным программным обеспечением для расчета мощности систем освещения DIALux Evo версии 12.1. Программное обеспечение доступно для свободного скачивания и использования при учебном проектировании.

Используя план коровника на 200 голов КРС, представленный на рисунке 5 в формате DWG, создадим проект в ПО DIALux Evo 12.1. Программный продукт позволяет загружать модели помещений в формате DWG. Для выполнения расчета мощности системы освещения необходимо определить требуемое значение освещенности в каждом помещении здания коровника на 200 голов КРС. Нормируемые значения освещенности определим согласно [22] и [11] занесем в таблицу 5.

Таблица 5 - Нормируемые значения освещенности для помещений коровника

Номер помещения на плане кровника	Наименование помещения	Нормируемое значение рабочей освещенности, лк	Нормируемое значение аварийной освещенности, лк	Нормируемое значение дежурной освещенности, лк
1	Стойловое помещение	200/80	5	20
2	Помещение для подстилки	20	5	0
3	Подсобное помещение	20	5	0
4	Помещение для хранения инвентаря	100	5	0
5	Тамбур	20	5	2
6	Помещение установки удаления навоза	20	5	2
7	Вентиляционная камера вытяжной вентиляции	30	5	3

Для установки в стойловом помещении предлагается использовать светодиодные светильники производителя ООО «Световые Технологии» марки SLICK.PRS AGRO LED 30 4000K. Данные светильники предназначены для использования на объектах агропромышленного комплекса, в том числе и на животноводческих фермах.

Для установки во всех помещениях коровника на 200 голов КРС, кроме стойлового помещения предлагается использовать светодиодные светильники производства ООО «Световые технологии» марки SIMPLE EVO (1200) 30W OPL 850 WH EM.

Технические характеристики светильников для системы освещения коровника на 200 голов КРС представлены в таблице 6.

Таблица 6 - Технические характеристики выбранных светильников

Наименование параметра	Единица измерения	Значение параметра	
		SIMPLE EVO (1200) 30W OPL 850 WH EM	SLICK.PRS AGRO LED 30 4000K
Мощность	Вт	32	31
Напряжение питания	В	230	230
Световой поток	Лм	4300	3800
Световая отдача	Лм/Вт	132	123
Цветовая температура	К	5000	4000
Индекс цветопередачи	CRI	>80	>70
Коэффициент мощности	-	>0,95	>0,96
Максимальное сечение подключаемого проводника	мм <sup>2</sup>	2,5	2,5

Изображения выбранных светодиодных светильников и их кривые силы света (КСС) представлены на рисунке 6.

Для расчета освещения коровника на 200 голов КРС предусмотрено создание в ПО DIALuxEvo трех сцен освещения:

- сцена освещения для периода дойки. Норма освещения в стойле 200 лк;
- сцена освещения для периода содержания. Норма освещенности в помещении стойла 100 лк;
- сцена аварийного (эвакуационного) освещения.

Для всех сцен освещения используются те же светильники, которые предусмотрены для установки в соответствующем помещении. Изменяется только число светильников, находящихся в работе. Электротехнические

решения по управлению освещением будут рассмотрены далее, в соответствующем разделе ВКР.

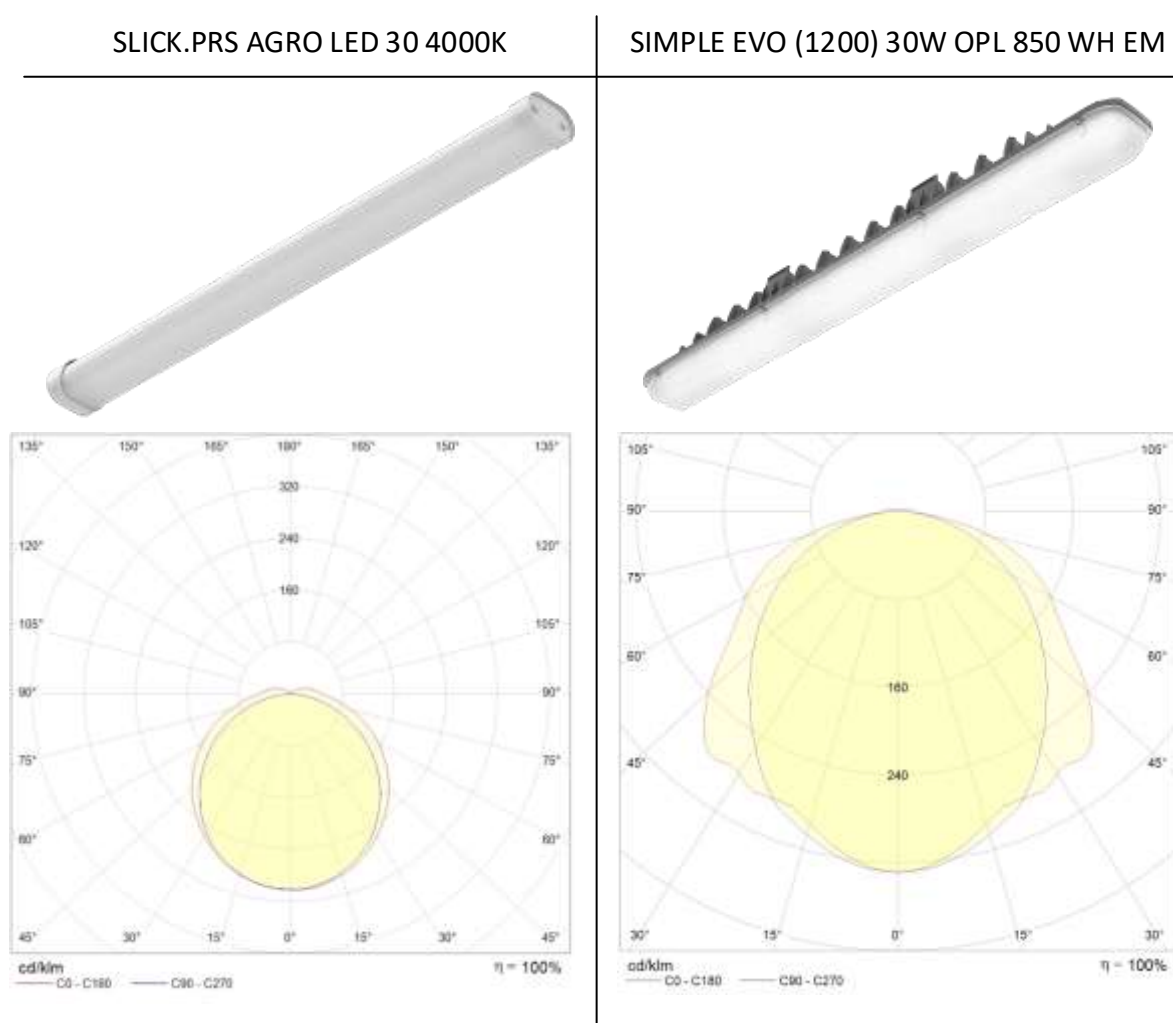


Рисунок 6 - Изображения и КСС выбранных светильников для системы освещения коровника на 200 голов КРС

Результаты расчета освещения для всех указанных сцен коровника на 200 голов КРС сведены в таблицу 7.

На рисунках 7 и 8 показаны результаты расчета сцен основного освещения для помещений коровника на 200 голов КРС с размещением светильников и границами изолиний, соответствующих расчетным значениям освещенности. На рисунке показаны результаты расчета дежурного освещения для стойлового помещения, помещения удаления навоза, вентиляторной и тамбуров 1 и 2.



Таблица 7 - Расчетные значения освещенности для помещений коровника

Наименование помещения	Основное освещение, лк								Аварийное освещение, лк				Дежурное освещение, лк			
	Дойка КРС				Содержание КРС											
	Нормируемое	Расчетное			Нормируемое	Расчетное			Нормируемое	Расчетное			Нормируемое	Расчетное		
		<i>min</i>	<i>max</i>	среднее		<i>min</i>	<i>max</i>	среднее		<i>min</i>	<i>max</i>	среднее		<i>min</i>	<i>max</i>	среднее
Стойловое помещение	200	106	279	234	100	61,4	120	101	5	10	83,7	8	20	7,5	52,1	20,7
Помещение для подстилки	20	61,8	87,3	76,8	20	61,8	87,3	76,8	5	61,8	87,3	76,8	0	0	0	0
Подсобное помещение	20	31,4	74,9	52,2	20	31,4	74,9	52,2	5	31,4	74,9	52,2	0	0	0	0
Помещение для хранения инвентаря	100	113	158	143	100	113	158	143	5	113	158	143	0	0	0	0
Тамбур 3, 4	20	51,9	84,9	69,2	20	51,9	84,9	69,2	5	51,9	84,9	69,2	2	51,9	84,9	69,2
Тамбур 1, 2	20	38,7	77,4	63,5	20	38,7	77,4	63,5	5	0,97	55	17	2	0,97	55	17
Помещение установки удаления навоза	20				20				5				2			
Вентиляционная камера вытяжной вентиляции	30				30				5				3			

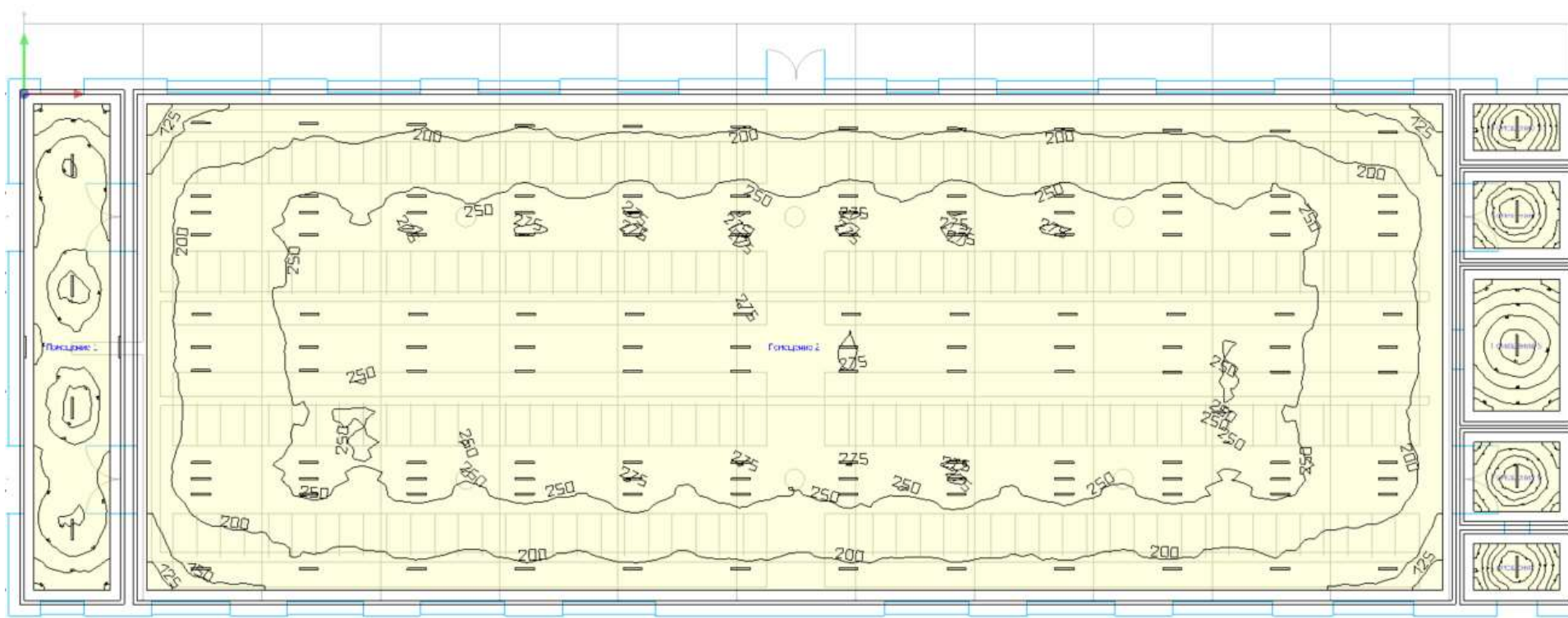


Рисунок 7 - Результаты расчета основного освещения коровника на 200 голов КРС в ПО DIALux Evo для дойки

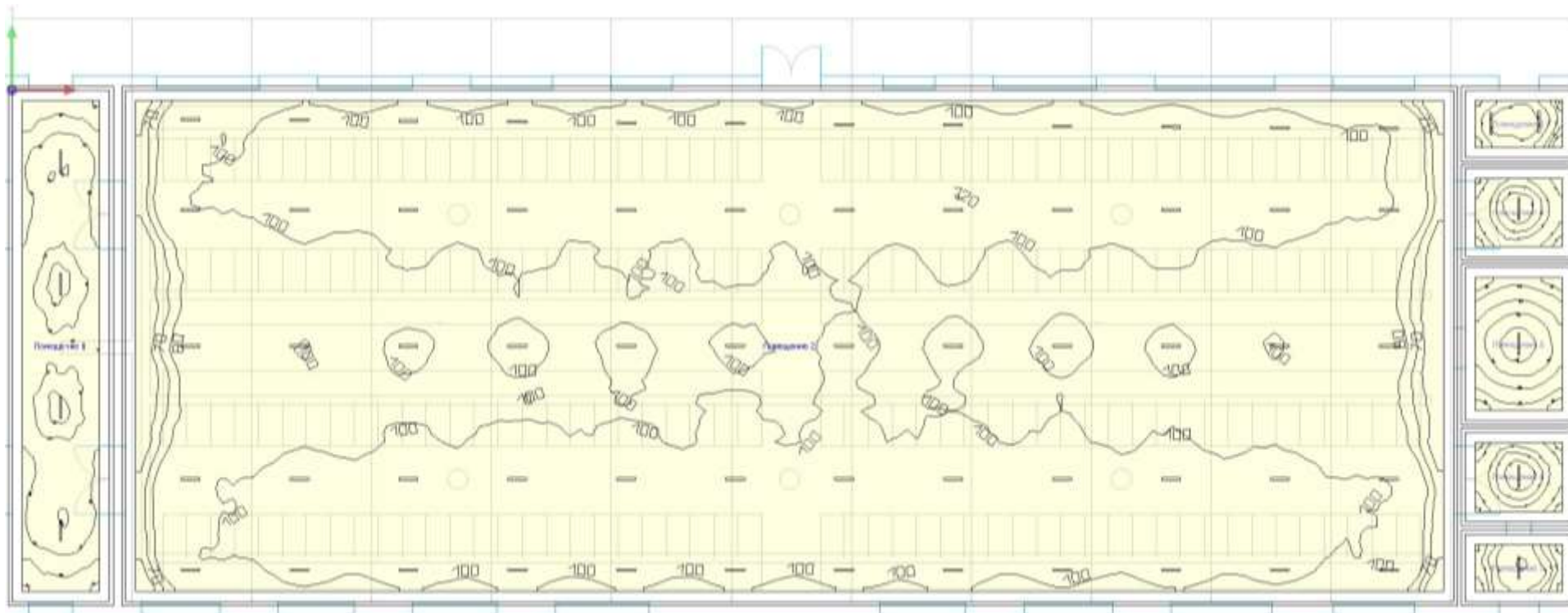


Рисунок 8 – Результаты расчета основного освещения коровника на 200 голов КРС в ПО DIALux Evo для содержания

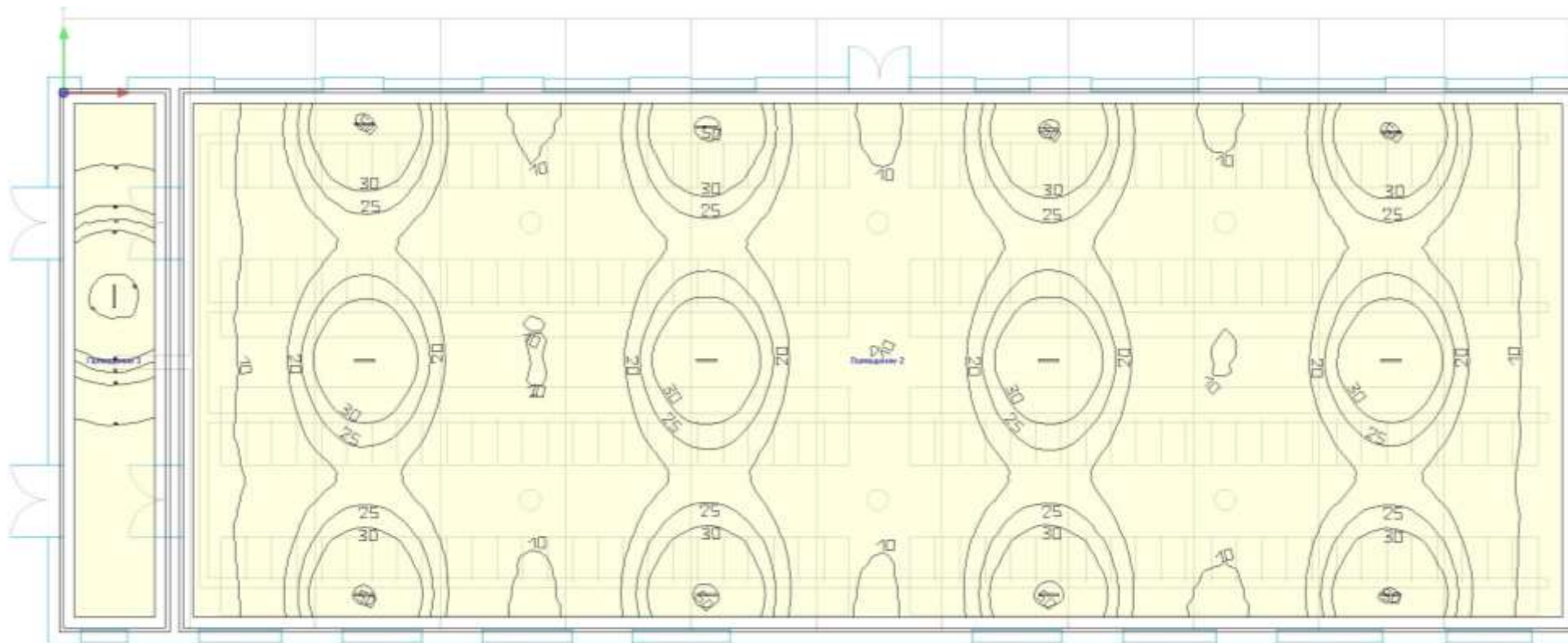


Рисунок 9 - Результаты расчета дежурного освещения коровника на 200 голов КРС в ПО DIALux Evo

В таблицу 8 сведем данные по числу светильников помещений коровника на 200 голов КРС, полученные в результате расчета в ПО DIALux Evo 12.1 для различных сцен освещения. Также в таблице 8 выполним расчет мощности для каждого вида освещения по выражению:

$$P_{\Sigma i} = \sum_{j=1}^n P_{\text{св}} \cdot n_{\text{св}} \quad (12)$$

где  $i$  – режим освещения, для которого выполняется расчет;

$j$  – помещение коровника на 200 голов КРС, в котором определяется мощность освещения;

$P_{\text{св}}$  – мощность светильника, используемого в  $j$ -м помещении в  $i$ -м режиме;

$n_{\text{св}}$  – число светильников, работающих в  $j$ -м помещении в  $i$ -м режиме.

Дополнительно, для определения расчетной мощности здания коровника на 200 голов КРС необходимо учесть мощность установок удаления навоза.

Для удаления навоза из стойлового помещения используются четыре установки марки ТСН-160 (транспортёр скребковый навозоуборочный с максимально допустимой длиной цепи 160 м) – две горизонтальные и две вертикальные. Данные установки позволят удалить навоз от 200 голов КРС. Привод одной установки ТСН-160 (вертикальной и горизонтальной) выполнен в виде двух электрических двигателей типа АИС112М4 и RA90L4. Характеристики асинхронных электродвигателей для установки ТСН-160 представлены в таблице 9.

Таблица 8 -Расчетное число светильников в помещении для различных режимов

Наименование помещения	Основное освещение				Аварийное освещение		Дежурное освещение	
	Дойка КРС		Содержание КРС					
	Число светильников	Мощность одного светильника	Число светильников	Мощность одного светильника	Число светильников	Мощность одного светильника	Число светильников, шт	Мощность одного светильника, Вт
Стойловое помещение	132	31	60	31	12	31	12	31
Помещение для подстилки	1	32	1	32	1	32	0	-
Подсобное помещение	1	32	1	32	1	32	0	-
Помещение для хранения инвентаря	2	32	2	32	1	32	0	-
Тамбур 3, 4	2	32	2	32	1	32	0	-
Тамбур 1, 2	4	32	4	32	1	32	1	32
Помещение установки удаления навоза								
Вентиляционная камера вытяжной вентиляции								
Итого, Вт	4412		2180		532		404	

Таблица 9 - Характеристики установки ТСН-160

Тип ЭД	Мощность ЭД, Вт	Частота вращения	КПД	cos	Количество ЭД
РА90L4	1500	1390	83	0,8	2
АИС 112М4	4000	1500	84,2	0,82	2
Установленная мощность					5500
Мощность всех установок					11000

Определим максимальную и расчетную мощности здания коровника на 200 голов КРС молочно-товарной фермы. Расчетную мощность здания коровника на 200 голов КРС выполним по методике представленной в [19], результаты расчета, а также промежуточные значения занесем в таблицу 10.

Расчетное значение полной мощности (таблица 10 столбец 16):

$$S_{\text{расч}} = \sqrt{P_{\text{расч}}^2 + Q_{\text{расч}}^2} \quad (13)$$

где  $P_{\text{расч}}$  – расчетное значение активной мощности, полученное в итоговой графе столбца 14 таблицы 10, кВт;

$Q_{\text{расч}}$  – расчетное значение реактивной мощности, полученное в итоговой графе столбца 15 таблицы 10, квар.

Расчетное значение активной мощности (столбец 14 таблица 10):

$$P_{\text{расч}} = K_{\text{и}} \cdot K_{\text{расч}} \cdot P_{\text{ном}} \quad (14)$$

где  $K_{\text{и}}$  – коэффициент использования, итоговая строка столбец 5 таблица 10;

$K_{\text{расч}}$  – расчетный коэффициент активной мощности, определяется по значению эффективного числа электроприемников и значению коэффициента использования по [19];

$P_{\text{ном}}$  – номинальная мощность электроприемников, кВт.

Таблица 10 - Сводная ведомость расчета нагрузок коровника на 200голов КРС

Исходные данные						Расчетные величины					Эффективное число ЭП	Коэффициент нагрузки	Расчетная мощность		
Расчетные значения оборудования				Справочные данные		$K_{и} \cdot P_{НОМ}$	$K_{и} \cdot P_{НОМ} \cdot \text{tg } \varphi$	$P_{НОМ}^2$	$n \cdot P_{НОМ}^2$	$P_{расч},$ кВт			$Q_{расч},$ квар	$S_{расч},$ кВА	
Наименование ЭП	n	Номинальная мощность, кВт		$K_{и}$	$\cos \varphi$						$\text{tg } \varphi$				
		одного ЭП	общая												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Установка вентиляции	1	2,2	2,2	0,8	0,79	0,776	1,76	1,36576	4,84	4,84	-	-	-	-	-
Установка отопления	4	45	180	0,9	0,89	0,512	162	82,944	2025	8100					
Установка удаления навоза	2	5,5	11	0,3	0,83	0,672	3,3	2,2176	30,25	60,5					
Освещение помещения стойла	132	0,031	4,092	1	0,96	0,292	4,092	1,19486	0,00096	0,12685					
Освещение других помещений	10	0,032	0,32	1	0,95	0,329	0,32	0,10528	0,00102	0,01024					
Итого без освещения	149	52,763	197,612	0,8	0,884	0,52	171,472	87,8275	2060,09	8165,48					
Итого	7	52,7	193,2	0,6	0,86	0,653	167,06	86,5274	2060,09	8165,34	5	1,08	185,19	89,16	205,54



Эффективное число электроприемников определяется на основании значения коэффициента использования и значения, полученного по выражению:

$$n_{\text{Э}} = \frac{P_{\text{НОМ}}^2}{\sum_1^n n \cdot p_{\text{НОМ}}^2} \quad (15)$$

где  $P_{\text{НОМ}}$  – суммарная номинальная мощность группы электроприемников, кВт;

$n$  – число электроприемников, шт.;

$p_{\text{НОМ}}$  – номинальная мощность единичного электроприемника, кВт.

Расчетная реактивная мощность (столбец 15 таблица 10) определяется по выражению на основании эффективного числа электроприемников. Для здания коровника на 200 голов КРС получено эффективное число электроприемников  $n_{\text{Э}} = 7$ . Следовательно, согласно [19] расчетное значение реактивной мощности определяется по выражению:

$$Q_{\text{расч}} = 1,1 \cdot K_{\text{и}} \cdot P_{\text{НОМ}} \cdot \text{tg } \varphi \quad (16)$$

$\text{tg } \varphi$  – групповой коэффициент реактивной мощности, итоговая строка столбца 7 таблицы 10.

В результате расчета электрических нагрузок получено, что значение расчетной полной мощности помещения коровника на 200 голов КРС составило  $S_{\text{расч}} = 205,54$  (кВА), расчетная активная нагрузка составила  $P_{\text{расч}} = 185,19$  (кВт), а расчетная реактивная нагрузка  $Q_{\text{расч}} = 89,16$  (квар).

Используя полученные значения определим расчетную нагрузку всего агропромышленного комплекса, а также определим необходимость использования установок компенсации реактивной мощности для снижения мощности используемых трансформаторов.

## 2.2 Определение расчетной мощности молочной фермы

Расчетную нагрузку молочно-товарной фермы выполним по укрупненному методу учитывая справочные значения удельных мощностей зданий молочно-товарной фермы на 400 голов КРС.

Для определения расчетной мощности методом удельных нагрузок используется выражение:

$$P_{\text{расч}} = p_{\text{уд}} \cdot S_{\text{зд}} \quad (17)$$

где  $p_{\text{уд}}$  – удельная мощность здания, определенная по справочным данным,  $\frac{\text{кВт}}{\text{м}^2}$ ;

$S_{\text{зд}}$  – площадь здания по генеральному плану молочно-товарной фермы,  $\text{м}^2$ .

По (17) определим расчетную мощность молочного блока (позиция 2 рисунок 3):

$$P_{\text{расч}} = 0,7 \cdot 204,13 = 142,89 \text{ (кВт)}$$

По (17) определим расчетную мощность водонапорной башни (позиция 6 рисунок 3):

$$P_{\text{расч}} = 0,85 \cdot 86,36 = 73,4 \text{ (кВт)}$$

Результаты расчетов занесем в итоговую таблицу 11.

Расчетную мощность молочной фермы на 200 голов КРС определим по выражению:

$$P_{\text{расч}\Sigma} = \sum_{i=1}^n P_{\text{расч}i} \quad (18)$$

где  $n$  – число зданий на молочно-товарной ферме, шт.;

$P_{\text{расч}i}$  – расчетная активная мощность  $i$ -го здания молочно-товарной фермы, кВт.

Таблица 11 - Результаты расчета нагрузок молочно-товарной фермы

Позиция на генеральном плане	Наименование здания	Площадь объекта, м <sup>2</sup>	Удельная активная мощность, $\frac{\text{кВт}}{\text{м}^2}$	Расчетная активная мощность, кВт
1	Коровник на 200 голов КРС	432,37	-	185,19
2	Молочный блок на два коровника	204,13	0,7	142,89
3	Хранилище сена	495,25	-	-
4	Хранилище навоза	508,33	-	-
5	Сенажная траншея	263,26	-	-
6	Башня водонапорная	86,36	0,85	73,4
7	Траншея силосная	309,9	-	-
8	Коровник на 200 голов КРС	432,37	-	185,19
Итого				586,67

Далее необходимо определить расчетную реактивную и полную мощности молочно-товарной фермы на 400 голов КРС.

Для определения расчетной реактивной мощности каждого помещения по справочным данным определим значение коэффициента активной мощности каждого здания и занесем в таблицу 12.

Расчетную реактивную мощность каждого здания с учетом коэффициента активной мощности определим по выражениям:

$$\text{tg } \varphi = \text{tg}(\arccos(\cos \varphi)) \quad (19)$$

$$Q_{\text{расч}} = \text{tg } \varphi \cdot P_{\text{расч}} \quad (20)$$

где  $\text{tg } \varphi$  – коэффициент реактивной мощности;

$\cos \varphi$  – коэффициент реактивной мощности;

$P_{\text{расч}}$  – значение расчетной активной мощности здания, кВт.

Полная расчетная мощность здания с учетом значений полученных по (19) и (20) определяется по выражению (13). Итоговые данные заносим в таблицу 12.

Таблица 12 - Расчет полной и реактивной мощностей молочно-товарной фермы

Наименование здания	Расчетная активная мощность, кВт	Коэффициент активной мощности	Коэффициент реактивной мощности	Расчетная реактивная мощность, квар	Полная мощность, кВА
Коровник на 200 голов КРС	185,19	-	-	89,16	205,5
Молочный блок на два коровника	142,89	0,84	0,65	92,88	170,4
Хранилище сена	-	-	-	-	-
Хранилище навоза	-	-	-	-	-
Сенажная траншея	-	-	-	-	-
Башня водонапорная	73,4	0,85	0,62	45,5	86,36
Траншея силосная	-	-	-	-	-
Коровник на 200 голов КРС	185,19	-	-	89,16	205,5
Итого				316,7	667,76

Полученные в таблице 12 используем для построения суточных графиков нагрузок для летнего и зимнего периодов. Суточные графики необходимы для выбора оптимальной мощности трансформаторов на подстанции молочно-товарной фермы, а также для определения расчетных значений нагрузочных потерь и построения годового графика нагрузки.

Используя значение полной мощности, определенное в таблице 12, а также используя данные типового графика для молочно-товарной фермы построим суточные графики для летнего и зимнего дня. Суточные графики для объекта ВКР показаны на рисунках 10 и 11. Данные для построения графиков представлены в таблице 13.

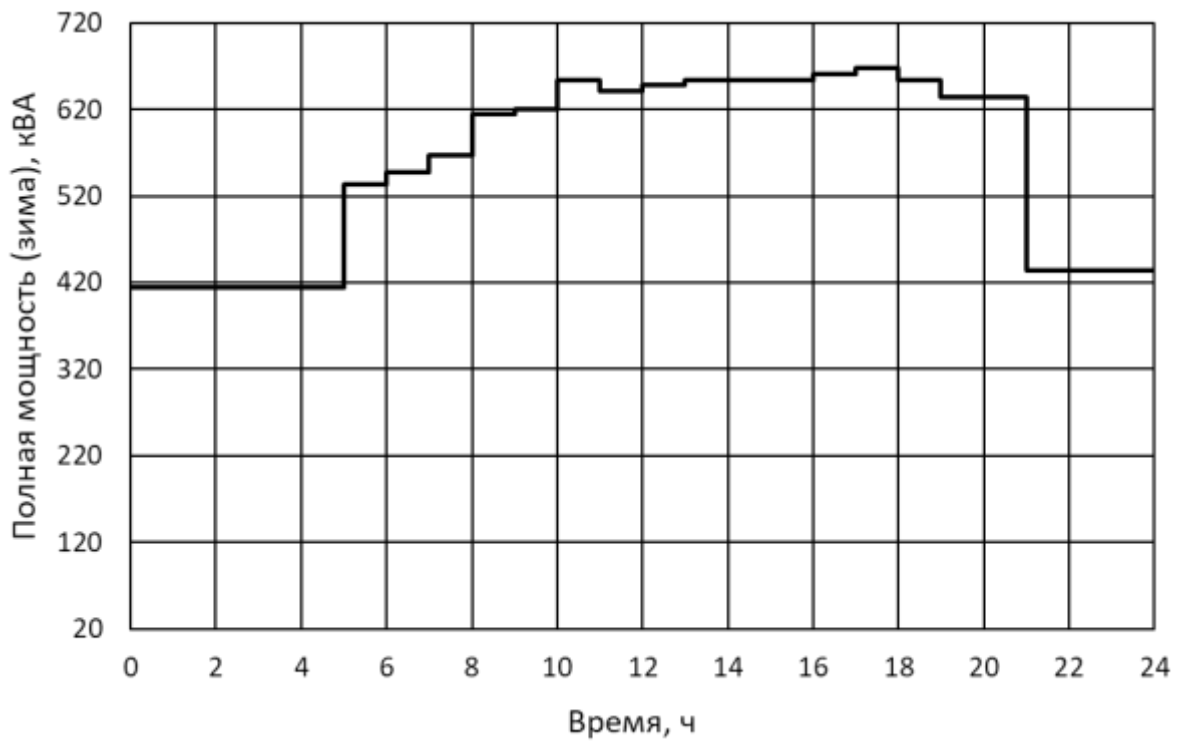


Рисунок 10 - Суточный зимний график полной мощности молочно-товарной фермы

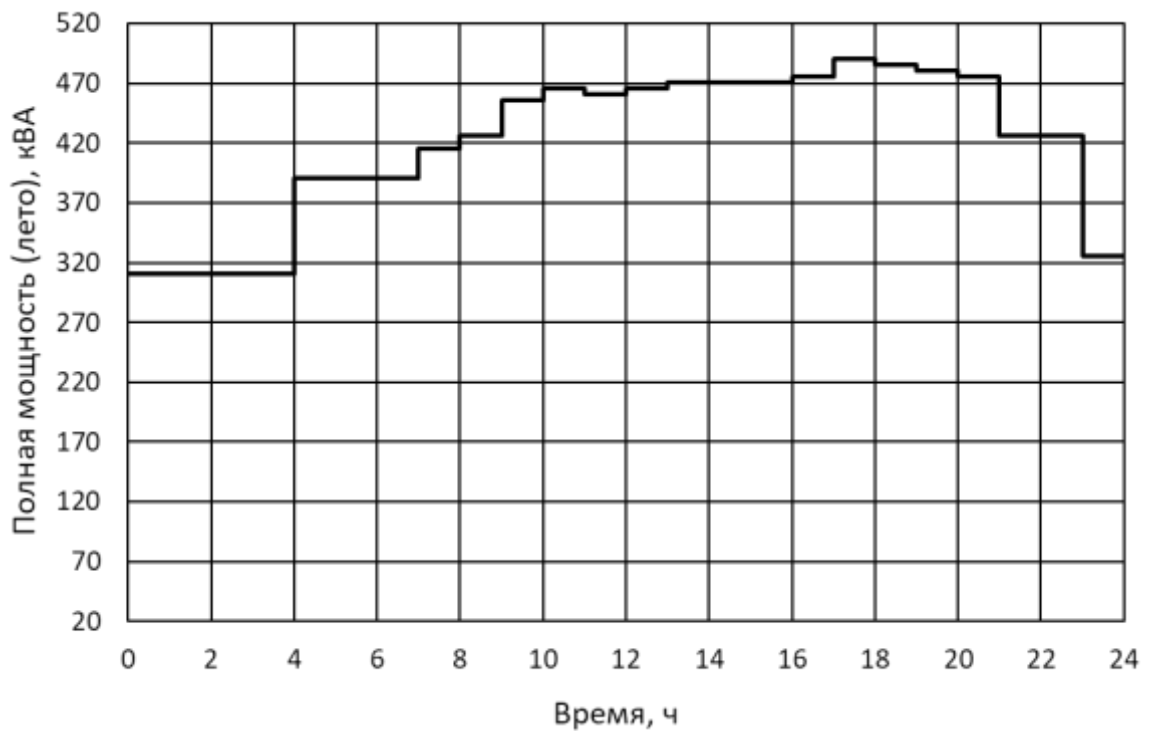


Рисунок 11 - Суточный летний график полной мощности молочно-товарной фермы

Таблица 13 - Данные суточных графиков нагрузки объекта ВКР

Часы	Мощность (зима), о.е	Полная мощность (зима), кВА	Мощность (лето), о.е	Полная мощность (лето), кВА
0-1	0,62	414,0112	0,62	310,5084
1-2	0,62	414,0112	0,62	310,5084
2-3	0,62	414,0112	0,62	310,5084
3-4	0,62	414,0112	0,62	310,5084
4-5	0,62	414,0112	0,78	390,6396
5-6	0,8	534,208	0,78	390,6396
6-7	0,82	547,5632	0,78	390,6396
7-8	0,85	567,596	0,83	415,6806
8-9	0,92	614,3392	0,85	425,697
9-10	0,93	621,0168	0,91	455,7462
10-11	0,98	654,4048	0,93	465,7626
11-12	0,96	641,0496	0,92	460,7544
12-13	0,97	647,7272	0,93	465,7626
13-14	0,98	654,4048	0,94	470,7708
14-15	0,98	654,4048	0,94	470,7708
15-16	0,98	654,4048	0,94	470,7708
16-17	0,99	661,0824	0,95	475,779
17-18	1	667,76	0,98	490,8036
18-19	0,98	654,4048	0,97	485,7954
19-20	0,95	634,372	0,96	480,7872
20-21	0,95	634,372	0,95	475,779
21-22	0,65	434,044	0,85	425,697
22-23	0,65	434,044	0,85	425,697
23-00	0,65	434,044	0,65	325,533

Далее по данным суточных графиков полной мощности для зимнего и летнего характерных дней построим годовой график полной мощности. Для построения графика принимаем во внимание, что продолжительность летнего периода для Самарской области 152 дня, а продолжительность зимнего периода 213 дней, продолжительности периодов определены согласно [20].

Годовые график построим для активной и полной мощностей представлены на рисунках 12 и 13 соответственно.

Для годовых графиков активной и полной мощностей данные представлены в таблице 14.

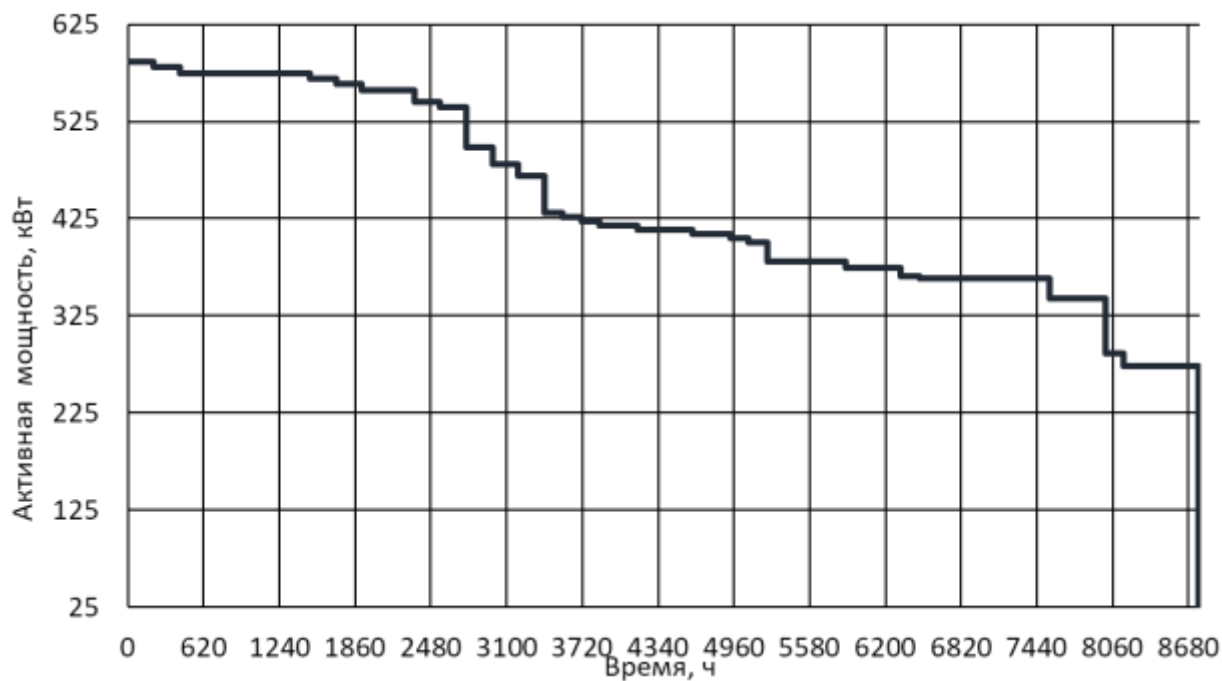


Рисунок 12 - Упорядоченный годовой график активной мощности молочно-товарной фермы

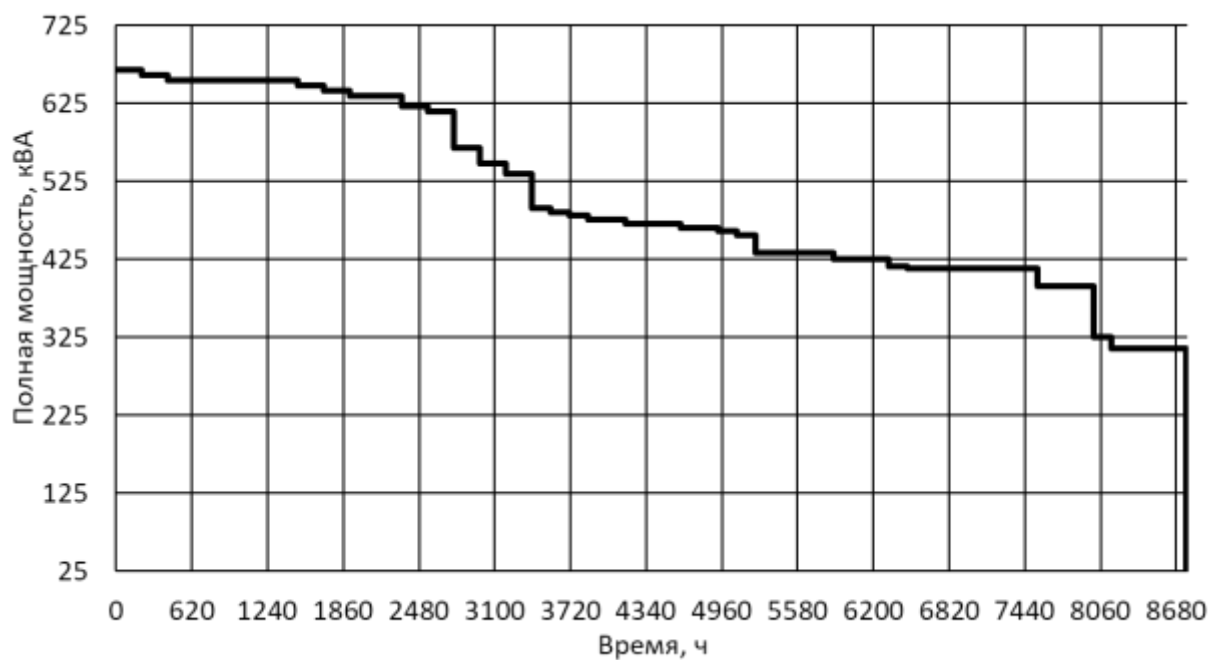


Рисунок 13 - Упорядоченный годовой график полной мощности молочно-товарной фермы

Таблицу 14 дополним расчетом значений потребляемой электрической энергии на каждой ступени годового графика активной мощности (рисунок 12).

Таблица 14 - Данные годовых графиков мощности

Номер ступени	Потребляемая электрическая энергия, кВт·ч	Полная мощность, кВА	Продолжительность ступени, ч	Активная мощность, кВт
1	124960,7	667,76	213	586,67
2	123710,4	661,0824	213	580,8
3	122462,2	654,4048	213	574,94
4	122462,2	654,4048	213	574,94
5	122462,2	654,4048	213	574,94
6	122462,2	654,4048	213	574,94
7	122462,2	654,4048	213	574,94
8	121211,9	647,7272	213	569,07
9	119961,6	641,0496	213	563,2
10	118713,4	634,372	213	557,34
11	118713,4	634,372	213	557,34
12	116212,8	621,0168	213	545,6
13	114964,6	614,3392	213	539,74
14	106216,7	567,596	213	498,67
15	102467,9	547,5632	213	481,07
16	99969,42	534,208	213	469,34
17	65542,4	490,8036	152	431,2
18	64873,6	485,7954	152	426,8
19	64204,8	480,7872	152	422,4
20	63536	475,779	152	418
21	63536	475,779	152	418
22	62867,2	470,7708	152	413,6
23	62867,2	470,7708	152	413,6
24	62867,2	470,7708	152	413,6
25	62198,4	465,7626	152	409,2
26	62198,4	465,7626	152	409,2
27	61529,6	460,7544	152	404,8
28	60860,8	455,7462	152	400,4
29	81225,42	434,044	213	381,34
30	81225,42	434,044	213	381,34
31	81225,42	434,044	213	381,34
32	56848	425,697	152	374
33	56848	425,697	152	374
34	56848	425,697	152	374
35	55510,4	415,6806	152	365,2
36	77476,62	414,0112	213	363,74
37	77476,62	414,0112	213	363,74
38	77476,62	414,0112	213	363,74
39	77476,62	414,0112	213	363,74
40	77476,62	414,0112	213	363,74
41	52166,4	390,6396	152	343,2
42	52166,4	390,6396	152	343,2
43	52166,4	390,6396	152	343,2



Продолжение таблицы 14

Номер ступени	Потребляемая электрическая энергия, кВт·ч	Полная мощность, кВА	Продолжительность ступени, ч	Активная мощность, кВт
45	41465,6	310,5084	152	272,8
46	41465,6	310,5084	152	272,8
47	41465,6	310,5084	152	272,8
48	41465,6	310,5084	152	272,8
$W_{\Sigma}$ , кВт·ч	3859443	-	-	-

Расчет потребляемой электрической энергии для каждой ступени годового графика активной мощности выполним по выражению:

$$W_i = P_i \cdot t_i \quad (21)$$

где  $P_i$  – активная мощность потребляемая на  $i$ -й ступени годового графика, кВт;

$t_i$  – продолжительность  $i$ -й ступени годового графика, ч.

По (21) для первой ступени ( $i = 1$ ) годового графика активной мощности получим:

$$W_1 = P_1 \cdot t_1 = 586,67 \cdot 213 = 124960,7 \text{ (кВт} \cdot \text{ч)}$$

Годовое потребление электрической энергии молочно-товарной фермы выполним в таблице 14 по выражению:

$$W_{\Sigma} = \sum_{i=1}^{48} W_i \quad (22)$$

где  $i$  – номер ступни годового графика активной мощности, общее число ступеней 48 шт.;

$W_i$  – расчетное значение потребляемой электрической энергии на  $i$ -й ступени годового графика активной мощности определенное по выражению (21), кВт·ч.

По данным таблицы 14 с использованием выражения (22) получено годовое значение потребляемой электрической энергии молочно-товарной фермой равное  $W_{\Sigma} = 3859443$  (кВт · ч).

Выводы по разделу.

Во втором разделе ВКР выполнен расчет нагрузок для здания коровника на 200 голов КРС. Выполнен расчет нагрузок на отопление, вентиляцию освещение и удаления навоза. Расчеты выполнены с учетом плана здания коровника на 200 голов КРС.

Для определения нагрузок освещения здания коровника выполнен расчет числа и мощности установок внутреннего освещения с использованием специализированного ПО DIALux Evo в котором согласно плану здания смоделированы сцены общего, дежурного и аварийного освещений.

Для установки в стойловом помещении приняты светильники производства ООО «Световые Технологии» марки SLICK.PRS AGRO LED 30 4000K в количестве 132 шт. Данные светильники обеспечивают требуемы уровень освещенности для периода проведения автоматизированной дойки коров на уровне 200 лк. Для остальных помещений здания коровника выбраны светильники производства ООО «Световые Технологии» марки SIMPLE EVO (1200) 30W OPL 850 WH EM. Также для помещений здания коровника на 200 голов КРС выполнен расчет дежурного и аварийного (эвакуационного) освещений, которые выполняются теми же светильниками, которые были выбраны для установки в соответствующем помещении.

Для здания коровника на 200 голов КРС значение расчетной полной мощности составило  $S_{\text{расч}} = 205,54$  (кВА), активной мощности  $P_{\text{расч}} = 185,19$  (кВт) и реактивной мощности  $Q_{\text{расч}} = 89,16$  (квар).

Выполнен расчет мощности для всей молочной фермы с учетом значений для здания коровника на 200 голов КРС. Для всех остальных зданий молочно-товарной фермы расчет выполнен по методу удельных нагрузок. Расчетное значение активной мощности для молочно-товарной фермы на 400 голов КРС составило 586,67 кВт.

Определены значения полной мощности 667,76 (кВА) и реактивной мощности 316,7 (квар).

Построены суточные графики полной мощности для зимнего и летнего характерных дней. С учетом продолжительности летнего периода 152 дня и продолжительности зимнего периода 213 дней построены годовые упорядоченные графики активной и полной мощностей.

Расчетное значение коэффициента активной мощности молочно-товарной фермы составило  $\cos \varphi = 0,878$ .

Определено годовое значение потребляемой энергии молочно-товарной фермы на 400 голов КРС, которое составило  $W_{\Sigma} = 3859443$  кВт·ч.

### 3 Выбор трансформаторов молочно-товарной фермы

Трансформаторы подстанции, питающей молочно-товарную ферму, выберем с учетом значений расчетных мощностей выполненных во втором разделе ВКР, а также категорий надежности электроснабжения для МТФ определенных в первом разделе ВКР в таблице 1.

Для трансформаторной подстанции, питающей молочно-товарную ферму, будем использовать два трансформатора так как на МТФ есть здания II категории надежности электроснабжения.

Определим расчетную мощность трансформаторов для подстанции МТФ по выражению:

$$S_{\text{тр.расч}} = \frac{S_{\text{МТФ.расч}}}{K_{\text{доп.ав}} \cdot (n - 1)} \quad (23)$$

где  $S_{\text{МТФ.расч}}$  – значение расчетной полной мощности МТФ. Значение определено в разделе 2 ВКР  $S_{\text{МТФ.расч}} = 667,76$ , кВА;

$K_{\text{доп.ав}}$  – коэффициент допустимой аварийной перегрузки трансформатора. Для двухтрансформаторной подстанции значение  $K_{\text{доп.ав}} = 1,4$ ;

$n$  – число трансформаторов на подстанции,  $n = 2$  шт.

По (23) для МТФ получим:

$$S_{\text{тр.расч}} = \frac{667,76}{1,4 \cdot (2 - 1)} = 476,97 \text{ (кВА)}$$

Определим мощность трансформаторов с условием компенсации реактивной мощности в системе электроснабжения МТФ.

Расчетное значение мощности конденсаторной установки для системы электроснабжения МТФ определим по выражению:

$$Q_{\text{КР}} = P_{\text{расч}} \cdot (\text{tg}(\varphi) - \text{tg}(\varphi_{\text{КР}})) \quad (24)$$

где  $P_{\text{расч}}$  – расчетное значение активной мощности МТФ, определенное в таблице 11  $P_{\text{расч}} = 586,67$  (кВт);

$\text{tg}(\varphi)$  – коэффициент реактивной мощности, полученный по результатам расчета нагрузок  $\text{tg}(\varphi) = 0,545$ ;

$\text{tg}(\varphi_{\text{КР}})$  – коэффициент реактивной мощности с учетом использования установки компенсации реактивной мощности  $\text{tg}(\varphi_{\text{КР}}) = 0,2$ .

По (24) получим:

$$Q_{\text{КР}} = 586,67 \cdot (0,545 - 0,203) = 200,6 \text{ (квар)}$$

По полученному значению  $Q_{\text{КР}} = 200,6$  (квар) выберем мощность установки компенсации реактивной мощности (УКРМ) с учетом подключения на шинах трансформаторной подстанции МТФ, т.е. выберем две установки одинаковой мощности по каталогу [8]. Выбираем две автоматических установки компенсации реактивной мощности типа АУКРМ-0,4-100-20 УЗ. С учетом выбранных установок проверим значение коэффициента реактивной мощности для проектируемой системы электроснабжения МТФ по выражению:

$$\text{tg}(\varphi)_{\text{факт}} = \text{tg}(\varphi) - \frac{n_{\text{КУ}} \cdot Q_{\text{КУ}}}{P_{\text{расч}}} \quad (25)$$

По (25) получим:

$$\text{tg}(\varphi)_{\text{факт}} = 0,545 - \frac{2 \cdot 100}{586,67} = 0,204$$

Полученное значение  $\operatorname{tg}(\varphi)_{\text{факт}} = 0,204$  удовлетворяет условию выбора мощности УКРМ.

Полная мощность с учетом выбранных установок компенсации реактивной мощности определяется по выражению:

$$S_{\text{расч.КУ}} = \sqrt{P_{\text{расч}}^2 + (Q_{\text{расч}} - n_{\text{КУ}} \cdot Q_{\text{КУ}})^2} \quad (26)$$

Для первой ступени годового графика полной мощности молочно-товарной фермы по (27) получим:

$$S_{\text{расч.КУ}} = \sqrt{586,67^2 + (318,93 - 2 \cdot 100)^2} = 598,6 \text{ (кВА)}$$

Определим расчетную мощность трансформатора с учетом установки 2×АУКРМ-0,4-100-20 по выражению:

$$S_{\text{тр.расч.КУ}} = \frac{S_{\text{расч.КУ}}}{K_{\text{доп.ав}} \cdot (n - 1)} \quad (27)$$

По (27) получим:

$$S_{\text{тр.расч}} = \frac{598,6}{1,4 \cdot (2 - 1)} = 427,57 \text{ (кВА)}$$

Применение установок компенсации реактивной мощности на трансформаторной подстанции МТФ не позволило существенно снизить расчетную мощность трансформаторов. Номинальная мощность трансформатора ( $S_{\text{тр.ном}}$ ) выбирается по [3] согласно ряду номинальных мощностей серийно выпускаемых трансформаторов по условию:

$$S_{\text{тр.ном}} \geq S_{\text{тр.расч.КУ}} \quad (28)$$

По (28) получим, что номинальная мощность трансформаторов необходимых для установки на трансформаторной подстанции МТФ с учетом компенсации реактивной мощности должна быть  $S_{\text{тр.ном}} = 630$  кВА.

$$630 > 427,57 \quad (29)$$

С учетом этого значения необходимо определить марку трансформаторов, принимаемых к установке. По каталогам производителей [1] и [15] рассмотрим два варианта установки трансформаторов: первый вариант с двумя сухими трансформаторами с литой изоляцией марки ТС(Л) (трансформатор трехфазный сухой с литой изоляцией), второй вариант с двумя трансформаторами марки ТМГ (трансформатор трехфазный с масляной изоляцией, герметичный). Паспортные данные трансформаторов определенные по [1] и [15] представлены в таблице 15.

Таблица 15 - Паспортные значения трансформаторов

Наименование параметра	Обозначение	Единица измерения	Значения параметров	
			ТМГ 630	ТС(Л) 630
Мощность	$S_{\text{тр.ном}}$	кВА	630	630
Напряжение обмотки ВН	$U_{\text{ВН.ном}}$	кВ	10	10
Напряжение обмотки НН	$U_{\text{НН.ном}}$	кВ	0,4	0,4
Ток холостого хода	$i_{\text{хх.}\%}$	%	0,3	0,7
Напряжение короткого замыкания	$u_{\text{кз.}\%}$	%	5,5	6
Потери холостого хода	$P_{\text{хх}}$	кВт	0,76	1,15
Потери короткого замыкания	$P_{\text{кз}}$	кВт	7,5	6,65
Схема соединения обмотки ВН	-	-	Y	Y
Схема соединения обмотки НН	-	-	$Y_{\text{H-0}}$	$Y_{\text{H-0}}$

Выбор трансформаторов для установки на трансформаторной подстанции (ТП) МТФ будем выполнять по величине нагрузочных потерь. К установке будет принят вариант с наименьшими нагрузочными потерями.

Определим значение коэффициентов загрузки трансформаторов соответствующих минимуму нагрузочных потерь по выражению:

$$K_{\text{опт.з}} = \sqrt{\frac{P_{\text{xx}}}{P_{\text{кз}}}} \quad (30)$$

По (30) для трансформатора ТМГ 630 получим:

$$K_{\text{опт.з(ТМГ)}} = \sqrt{\frac{0,76}{7,5}} = 0,32$$

По (30) для трансформатора ТС(Л) 630 получим:

$$K_{\text{опт.з(ТСЛ)}} = \sqrt{\frac{1,15}{6,65}} = 0,42$$

Нагрузочные потери для трансформаторов определяются на основании годового графика нагрузок по выражению для  $i$ -й ступени годового графика:

$$\Delta W_{\text{н.}i} = \left( \frac{P_{\text{кз}}}{n} \cdot \left( \frac{S_i}{S_{\text{тр.ном}}} \right)^2 + n \cdot P_{\text{xx}} \right) \cdot t_i \quad (31)$$

где  $P_{\text{кз}}$  – паспортное значение потерь короткого замыкания. Определяем для каждого варианта трансформаторов по таблице 15, кВт;

$n$  – число трансформаторов на подстанции. Принимаем для обоих вариантов  $n = 2$ , шт;

$S_i$  – значение полной мощности на  $i$ -й ступени годового графика с учетом компенсации реактивной мощности;



$S_{\text{тр.ном}}$  – номинальная мощность трансформатора. Принимаем для всех вариантов  $S_{\text{тр.ном}} = 630$  кВА;

$P_{\text{хх}}$  – паспортное значение потерь холостого хода. Определяем для каждого варианта трансформаторов по таблице 15, кВт;

$t_i$  – продолжительность  $i$ -й ступени годового графика, определяем по рисунку 13 или таблице 14, ч.

Для определения нагрузочных потерь по выражению (26) выполним расчет полной мощности на каждой ступени годового графика с учетом использования УКРМ, результаты занесем в таблицу 16.

Таблица 16 - Определение полной мощности МТФ с учетом компенсации реактивной мощности

Номер ступени	$S_{\text{расч}}$ , кВА	$P_{\text{расч}}$ , кВт	$Q_{\text{расч}}$ , квар	$Q_{\text{КУ}}$ , квар	$S_{\text{расч.КУ}}$ , кВА
1	667,76	586,67	318,94	200	598,61
2	661,0824	580,8	315,76	200	592,22
3	654,4048	574,94	312,55	200	585,85
4	654,4048	574,94	312,55	200	585,85
5	654,4048	574,94	312,55	200	585,85
6	654,4048	574,94	312,55	200	585,85
7	654,4048	574,94	312,55	200	585,85
8	647,7272	569,07	309,37	200	579,48
9	641,0496	563,2	306,19	200	573,12
10	634,372	557,34	302,99	200	566,78
11	634,372	557,34	302,99	200	566,78
12	621,0168	545,6	296,62	200	554,09
13	614,3392	539,74	293,42	200	547,77
14	567,596	498,67	271,1	200	503,71
15	547,5632	481,07	261,53	200	484,99
16	534,208	469,34	255,14	200	472,57
17	490,8036	431,2	234,42	200	432,57
18	485,7954	426,8	232,03	200	428
19	480,7872	422,4	229,64	200	423,44
20	475,779	418	227,25	200	418,89
21	475,779	418	227,25	200	418,89
22	470,7708	413,6	224,86	200	414,35
23	470,7708	413,6	224,86	200	414,35
24	470,7708	413,6	224,86	200	414,35
25	465,7626	409,2	222,46	200	409,82
26	465,7626	409,2	222,46	200	409,82

Продолжение таблицы 16

Номер ступени	$S_{\text{расч}}, \text{кВА}$	$P_{\text{расч}}, \text{кВт}$	$Q_{\text{расч}}, \text{квар}$	$Q_{\text{КУ}}, \text{квар}$	$S_{\text{расч.КУ}}, \text{кВА}$
27	460,7544	404,8	220,07	200	405,3
28	455,7462	400,4	217,68	200	400,79
29	434,044	381,34	207,3	200	381,41
30	434,044	381,34	207,3	200	381,41
31	434,044	381,34	207,3	200	381,41
32	425,697	374	203,33	200	374,01
33	425,697	374	203,33	200	374,01
34	425,697	374	203,33	200	374,01
35	415,6806	365,2	198,54	180	365,67
36	414,0112	363,74	197,73	180	364,17
37	414,0112	363,74	197,73	180	364,17
38	414,0112	363,74	197,73	180	364,17
39	414,0112	363,74	197,73	180	364,17
40	414,0112	363,74	197,73	180	364,17
41	390,6396	343,2	186,58	180	343,26
42	390,6396	343,2	186,58	180	343,26
43	390,6396	343,2	186,58	180	343,26
44	325,533	286	155,49	140	286,42
45	310,5084	272,8	148,31	140	272,93
46	310,5084	272,8	148,31	140	272,93
47	310,5084	272,8	148,31	140	272,93
48	310,5084	272,8	148,31	140	272,93

По (31) для трансформатора ТМГ 630 определим величину нагрузочных потерь электрической энергии для первой ступени годового графика полной мощности с учетом компенсации реактивной мощности:

$$W_{\text{ТМГ.н.1}} = \left( \frac{7,5}{2} \cdot \left( \frac{598,61}{630} \right)^2 + 2 \cdot 0,76 \right) \cdot 213 = 1044,897 \text{ (кВт} \cdot \text{ч)}$$

По (31) для трансформатора ТС(Л) 630 определим величину нагрузочных потерь электрической энергии для первой ступени годового графика полной мощности:

$$W_{\text{ТС(Л)н.1}} = \left( \frac{6,65}{2} \cdot \left( \frac{598,61}{630} \right)^2 + 2 \cdot 1,15 \right) \cdot 213 = 1129,31 \text{ (кВт} \cdot \text{ч)}$$

Аналогично выполним расчеты для всех ступеней годового графика полной мощности, результаты занесем в таблицу 17.

Таблица 17 - Расчет годовых нагрузочных потерь

$i$	$S_{расч.кУ}, кВА$	$t_i, ч$	$W_{ТС(Л)н.i}, кВт \cdot ч$	$K_{э.ТП}$	$W_{ТМГ.н.i}, кВт \cdot ч$
1	598,61	213	1129,308	0,48	1044,897
2	592,22	152	796,2016	0,47	734,726
3	585,85	213	1102,339	0,46	1014,481
4	585,85	152	786,6459	0,46	723,9489
5	585,85	213	1102,339	0,46	1014,481
6	585,85	152	786,6459	0,46	723,9489
7	585,85	152	786,6459	0,46	723,9489
8	579,48	213	1089,093	0,46	999,5421
9	573,12	213	1076,013	0,45	984,7896
10	566,78	213	1063,117	0,45	970,2455
11	566,78	213	1063,117	0,45	970,2455
12	554,09	213	1037,736	0,44	941,6205
13	547,77	152	731,6768	0,43	661,9536
14	503,71	152	672,6839	0,4	595,4203
15	484,99	152	649,1158	0,38	568,8398
16	472,57	213	888,3946	0,38	773,19
17	432,57	213	823,7896	0,34	700,3273
18	428	213	816,772	0,34	692,4126
19	423,44	152	577,9168	0,34	488,5402
20	418,89	152	573,0365	0,33	483,0361
21	418,89	152	573,0365	0,33	483,0361
22	414,35	152	568,2195	0,33	477,6033
23	414,35	213	796,2549	0,33	669,2731
24	414,35	213	796,2549	0,33	669,2731
25	409,82	213	789,5929	0,33	661,7595
26	409,82	152	563,4654	0,33	472,2415
27	405,3	213	783,0186	0,32	654,3449
28	400,79	152	554,1445	0,32	461,7293
29	381,41	152	534,8415	0,3	439,959
30	381,41	152	534,8415	0,3	439,959
31	381,41	213	749,4818	0,3	616,5215
32	374,01	213	739,5069	0,3	605,2715
33	374,01	152	527,7232	0,3	431,9309
34	374,01	152	527,7232	0,3	431,9309
35	365,67	213	728,4991	0,29	592,8567
36	364,17	213	726,5456	0,29	590,6536
37	364,17	213	726,5456	0,29	590,6536
38	364,17	213	726,5456	0,29	590,6536
39	364,17	213	726,5456	0,29	590,6536
40	364,17	213	726,5456	0,29	590,6536
41	343,26	213	700,1503	0,27	560,8844
42	343,26	152	499,6377	0,27	400,2555
43	343,26	152	499,6377	0,27	400,2555

Продолжение таблицы 17

$i$	$S_{\text{расч.КУ}}, \text{кВА}$	$t_i, \text{ч}$	$W_{\text{ТС(Л)н.и}}, \text{кВт} \cdot \text{ч}$	$K_{\text{з.ТП}}$	$W_{\text{ТМГ.н.и}}, \text{кВт} \cdot \text{ч}$
44	286,42	152	454,0626	0,23	348,855
45	272,93	152	444,4542	0,22	338,0185
46	272,93	152	444,4542	0,22	338,0185
47	272,93	152	444,4542	0,22	338,0185
48	272,93	152	444,4542	0,22	338,0185
$\Sigma W_{\text{ТС(Л)н}}, \text{кВт} \cdot \text{ч}$			34883,23	$W_{\text{ТМГн}}, \text{кВт} \cdot \text{ч}$	29933,88

Сравнивая значения годовых значений нагрузочных потерь в трансформаторах ТС(Л) 630/10/0,4 кВ с нагрузочными потерями в трансформаторе ТМГ 630/10/0,4 кВ к установке на трансформаторной подстанции МТФ примем два трансформатора марки ТМГ 630/10/0,4 так как величина потерь при их установке на ТП МТФ ниже.

Вывод по разделу.

Выполнен расчет требуемой мощности трансформаторов для подстанции МТФ. Для снижения мощность трансформаторов выполнен выбор мощности установок компенсации реактивной мощности.

Для установки на шинах трансформаторной подстанции МТФ приняты две установки компенсации реактивной мощности типа АУКРМ-0,4-100-20 УЗ. Выбранные установки компенсации реактивной мощности являются автоматическими с мощностью 100 квар и ступенью регулирования 20 квар и номинальным напряжением 0,4 кВ.

Применение установок компенсации позволило снизить значение полной мощности МТФ. В результате для установки на ТП рассмотрены два варианта. Первый вариант с установкой двух трансформаторов марки ТМГ 630/10/0,4 кВ, а второй вариант с двумя трансформаторами ТС(Л) 630/10/0,4 кВ.

Для каждого варианта трансформаторов определены паспортные данные по каталогам производителей – ООО «Тольяттинский Трансформатор» и АО «Группа СВЭЛ», г. Екатеринбург.

Для трансформаторов определены значения оптимальных коэффициентов загрузки, которые определяют минимальные потери в трансформаторах.

Для трансформатора ТМГ 630/10/0,4 оптимальный коэффициент загрузки составил  $K_{\text{опт.з(ТМГ)}} = 0,32$ , а для трансформатора марки ТС(Л) 630/10/0,4 оптимальный коэффициент загрузки составил  $K_{\text{опт.з(ТСЛ)}} = 0,42$ .

Выбор типа трансформаторов выполнен по величине годовых нагрузочных потерь в трансформаторах. Для варианта с двумя трансформаторами ТС(Л) 630/10/0,4 получено значение годовых нагрузочных потерь по годовому графику нагрузок  $\Sigma W_{\text{ТС(Л)н}} = 34883,23$  (кВт · ч), а для варианта с трансформаторами ТМГ 630/10/0,4  $W_{\text{ТМГн}} = 34883,23$  (кВт · ч). В результате на ТП МТФ принято к установке два трансформатора марки ТМГ 630/10/0,4 производства завода ООО «Тольяттинский трансформатор», г. Тольятти.

#### 4 Внешнее электроснабжение молочно-товарной фермы

В разделе 1 ВКР определено, что питание молочно-товарной фермы будет проводиться от подстанции 110/10 кВ «Черкассы» расположение которой показано на рисунке 4. Так как МТФ является потребителем второй категории надежности электроснабжения, то для питания трансформаторной подстанции будем использовать две линии напряжением 10 кВ от разных секций шин подстанции 110/10 кВ «Черкассы».

Определим расчетный ток линий 10 кВ для питания системы электроснабжения молочно-товарной фермы по выражению:

$$I_{\text{расч}} = \frac{\sqrt{(P_{\text{расч}} + \Delta P_{\text{тр}})^2 + (Q_{\text{расч}} + \Delta Q_{\text{тр}})^2}}{n_{\text{ВЛИ}} \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} \quad (32)$$

где  $P_{\text{расч}}$  – расчетная активная нагрузка на шинах низкого напряжения

ТП. Определено в таблице 16, кВт;

$\Delta P_{\text{тр}}$  – потери в трансформаторах ТП, кВт;

$Q_{\text{расч}}$  – расчетная реактивная мощность с учетом компенсации.

Определена в таблице 16, квар;

$\Delta Q_{\text{тр}}$  – потери реактивной мощности в трансформаторах ТП, квар;

$n_{\text{ВЛИ}}$  – количество питающих линий, принимаем  $n_{\text{ВЛИ}} = 2$  шт.;

$U_{\text{ном}}$  – номинальное напряжение питающей линии, принимаем для проектируемой линии  $U_{\text{ном}} = 10$  кВ.

Потери активной и реактивной мощности в трансформаторах определяются по выражениям:

$$\Delta P_{\text{тр}} = n \cdot \left( \frac{P_{\text{кз}}}{n} \cdot \left( \frac{S_i}{S_{\text{тр.ном}}} \right)^2 + n \cdot P_{\text{хх}} \right) \quad (33)$$

$$\Delta Q_{\text{тр}} = n \cdot \left( n \cdot \frac{i_{\text{хх.}\%}}{100} + \frac{u_{\text{кз.}\%}}{n \cdot 100} \cdot \left( \frac{S_i}{S_{\text{тр.ном}}} \right)^2 \right) \cdot S_{\text{тр.ном}} \quad (34)$$

где  $P_{\text{кз}}$  – паспортное значение потерь короткого замыкания. Определяем для каждого варианта трансформаторов по таблице 15, кВт;

$n$  – число трансформаторов на подстанции. Принимаем для обоих вариантов  $n = 2$ , шт;

$S_i$  – значение полной мощности на  $i$ -й ступени годового графика с учетом компенсации реактивной мощности;

$S_{\text{тр.ном}}$  – номинальная мощность трансформатора. Принимаем для всех вариантов  $S_{\text{тр.ном}} = 630$  кВА;

$P_{\text{хх}}$  – паспортное значение потерь холостого хода. Определяем для каждого варианта трансформаторов по таблице 15, кВт;

$i_{\text{хх.}\%}$  – относительное значение тока холостого хода, определяется по таблице 15, %;

$u_{\text{кз.}\%}$  – относительное значение напряжения короткого замыкания, определяется по таблице 15, %.

По (33) и (34) получим:

$$\Delta P_{\text{тр}} = 2 \cdot \left( \frac{7,5}{2} \cdot \left( \frac{598,61}{630} \right)^2 + 2 \cdot 0,76 \right) = 9,8 \text{ (кВт)}$$

$$\Delta Q_{\text{тр}} = 2 \cdot \left( 2 \cdot \frac{0,3}{100} + \frac{5,5}{2 \cdot 100} \cdot \left( \frac{598,61}{630} \right)^2 \right) \cdot 630 = 38,1 \text{ (квар)}$$

По (32) получим:

$$I_{\text{расч}} = \frac{\sqrt{(586,67 + 9,8)^2 + (118,94 + 38,1)^2}}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10} = 17,8 \text{ (А)} \quad (35)$$

Выбранную питающую линию необходимо проверить по нагреву максимальным рабочим током, определяемым по выражению:

$$I_{\text{расч}}^{\text{max}} = \frac{n \cdot S_{\text{тр.ном}} + n \cdot \sqrt{\Delta P_{\text{тр}}^2 + \Delta Q_{\text{тр}}^2}}{n_{\text{ВЛИ}} \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} \quad (36)$$

По (36) получим:

$$I_{\text{расч}}^{\text{max}} = \frac{2 \cdot 630 + 2 \cdot \sqrt{9,8^2 + 38,1^2}}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10} = 38,64 \text{ (А)}$$

Также линию необходимо проверить по величине потерь напряжения, определяемых по выражению:

$$\Delta U = U_{\text{ном}} - \left( 3 \cdot I_{\text{расч}} \cdot l \cdot (r_0 \cdot \cos \varphi + x_0 \cdot \sin \varphi) \right) \quad (37)$$

где  $I_{\text{расч}}$  – расчетный ток в линии определяемое выражением (35), А;

$l$  – длина линии, км;

$r_0$  – удельное активное сопротивление линии, Ом/км;

$x_0$  – удельное индуктивное сопротивление линии, Ом/км;

$\cos \varphi, \sin \varphi$  – значения, соответствующие  $\text{tg } \varphi$  в конце линии;

$U_{\text{ном}}$  – номинальное напряжение линии, В.

Для определения длины линии составим план прокладки линии от подстанции 110/10 кВ «Черкаassy» до ТП МТФ. Расстояние определим по плану, представленному на рисунке 14.

Длина трассы линии составляет  $l = 1,85$  (км).



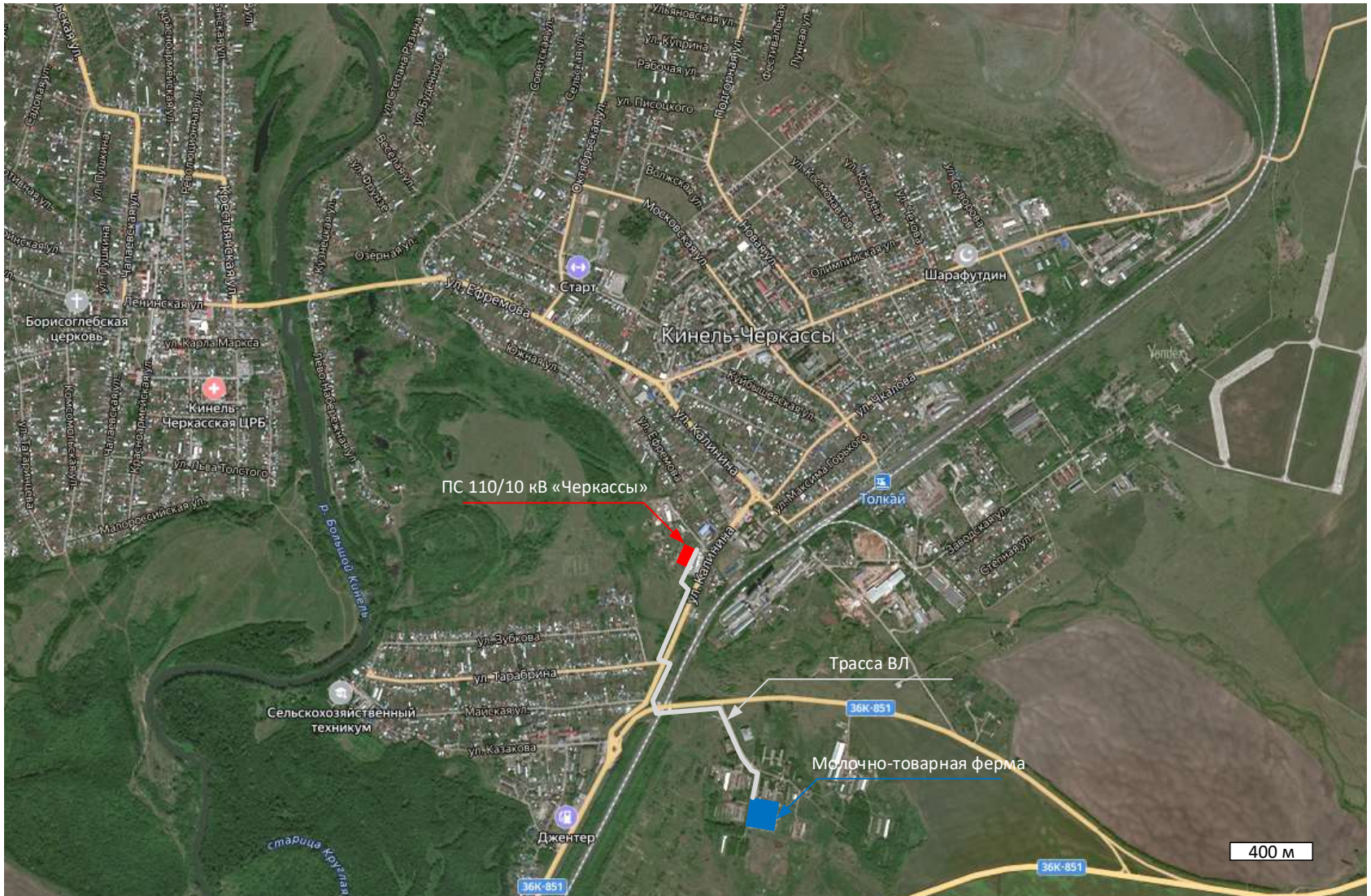


Рисунок 14 - План трассы ВЛ для питания МТФ

Для линии предварительно выберем самонесущий изолированный провод СИП-3 сечением 16 мм<sup>2</sup>. Для данного провода определим параметры  $r_0 = 1,91$  (Ом/км),  $x_0 = 0,31$  (Ом/км). Далее по (37) с учетом определенных параметров получим:

$$\Delta U = 10000 - (3 \cdot 17,8 \cdot 1,85 \cdot (1,91 \cdot 0,98 + 0,31 \cdot 0,198)) = 9809 \text{ (В)}$$

Падение напряжения в линии составляет 1,91%, что является допустимым.

Номинальный ток для СИП-3 1×16 составляет с 100 А  $I_{\text{доп}} = 100$  А. Для окончательного выбора провода необходимо проверить условие:

$$I_{\text{доп}} > I_{\text{расч}}^{\text{max}} > I_{\text{расч}} \quad (38)$$
$$100 > 38,64 > 17,8$$

Условие (38) выполняется поэтому окончательно принимаем для воздушной линии провод марки СИП-3 1×16.

Вывод по разделу.

Для питания ТП МТФ определена трасса воздушной линии от подстанции 110/10 кВ «Черкассы» до ТП МТФ. Длина ВЛ составляет 1,85 км. Для питания выбрана двухцепная воздушная изолированная линия (ВЛИ) выполненная проводами СИП-3 1×16. Для линии выполнена проверка по допустимому току и потере напряжения.

## 5 Распределение электрической энергии

Для системы электроснабжения молочно-товарной фермы определим трассы линии для питания зданий МТФ, а также определим кабели и трассы для питания нагрузок помещения коровника на 200 голов КРС.

### 5.1 Распределение электроэнергии по территории МТФ

Определим место расположения трансформаторной подстанции молочно-товарной фермы. Оптимальным местом размещения трансформаторной подстанции – центр электрических нагрузок. Координаты ЦЭН определяются по выражениям:

$$x_{\text{ЦЭН}} = \frac{\sum_{i=1}^8 P_{\text{расч.}i} \cdot x_i}{\sum_{i=1}^8 P_{\text{расч.}i}} \quad (39)$$

$$y_{\text{ЦЭН}} = \frac{\sum_{i=1}^8 P_{\text{расч.}i} \cdot y_i}{\sum_{i=1}^8 P_{\text{расч.}i}} \quad (40)$$

где  $x_i$  – координаты  $i$ -го помещения МТФ по оси абсцисс, м;

$y_i$  – координаты  $i$ -го помещения МТФ по оси ординат, м.

Радиусы окружностей для построения картограммы нагрузок, для каждого помещения МТФ определяются по выражению:

$$r_i = \sqrt{\frac{P_{\text{расч.}i}}{\pi \cdot m}} \quad (41)$$

где  $m$  – масштаб для определения площади круга. Принимаем  $m = 10$  кВт/мм<sup>2</sup>.

Для определения координат ЦЭН и построения картограммы нагрузок по выражениям (39) - (41) составим таблицу 18.

Таблица 18 - Расчет картограммы нагрузок для определения ЦЭН

$i$	$x_i$	$y_i$	$P_{расч.i}$	$P_{расч.i} \cdot x_i$	$P_{расч.i} \cdot y_i$	$r$
1	69	65	185,9	12827,1	12083,5	5,643326
2	83	66,5	142,89	11859,87	9502,185	6,745841
3	133	31	-	-	-	-
4	65	11,2	-	-	-	-
5	9	62	-	-	-	-
6	13,5	96,5	73,4	990,9	7083,1	4,834852
7	135,5	92	0	0	0	0
8	96,5	65	185,19	17870,84	12037,35	7,679694
$\sum_{i=1}^8 P_{расч.i}$ , кВт			587,38	-	-	-
$\sum_{i=1}^8 P_{расч.i} \cdot x_i$ , кВт·м				43548,71	-	-
$\sum_{i=1}^8 P_{расч.i} \cdot y_i$ , кВт·м					40706,14	-

Картограмма нагрузок МТФ показана на рисунке 15.

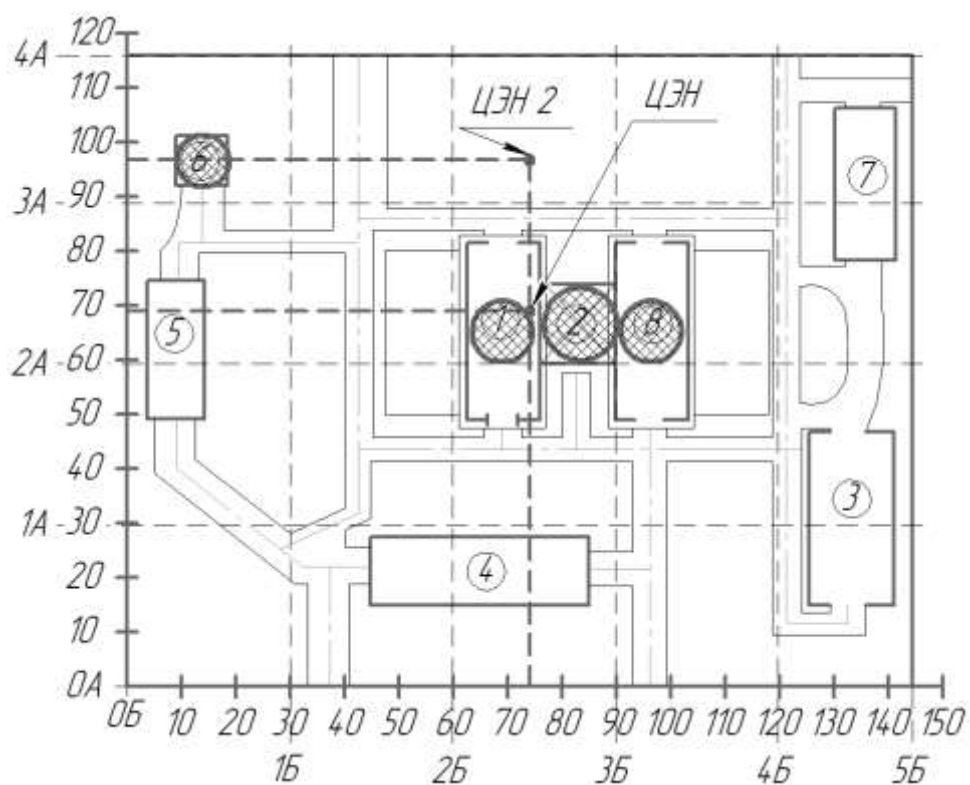


Рисунок 15 - Картограмма нагрузок

По значениям таблицы 18 расчетные значения координат центра электрических нагрузок  $x_{цэн} = 74,14$  (м),  $y_{цэн} = 69,3$  (м). В точке с расчетными координатами ЦЭН размещение ТП невозможно, так как ЦЭН

попадает на помещение кровника на 200 голов КРС (рисунок 15). Поэтому смещаем размещение ТП в сторону питающей линии в точку ЦЭН 2 с координатами  $x_{ЦЭН2} = 74,14$  (м),  $y_{ЦЭН2} = 97$  (м) (рисунок 15).

Для определения требуемого сечения линий необходимо определить расчетный ток для каждого помещения МТФ. Расчетный ток определяется выражением (35) при условии, что номинальное напряжение распределительной сети 0,4 кВ. Далее необходимо выбрать тип и сечение провода питающих линий с учетом числа линий. Для потребителей II категории надежности электроснабжения используем 2 питающих линии. Для всех линий используем самонесущие изолированные провода марки СИП-2. Сечение проводов марки СИП-2 выбираем по [14].

Падение напряжения в линиях определим по выражению:

$$\Delta U_{л.i} = \frac{P_{расч.л.i} \cdot r_0 \cdot l_i + Q_{расч.л.i} \cdot x_0 \cdot l_i}{U_{ном}} \cdot 100 \quad (42)$$

Результаты расчета и выбора питающих линий представлены в таблице 19.

Таблица 19 - Выбор сечения питающих линий

$i$	$I_{расч}$ А	Выбор сечения линии				Расчет потерь напряжения					
		$n$ шт.	$I_{расч}$ А	Тип СИП-2	$I_{доп}$ А	$P_{расч.л.i}$ кВт	$Q_{расч.л.i}$ квар	$r_0$ $\frac{Ом}{км}$	$x_0$ $\frac{Ом}{км}$	$l_i$ м	$\Delta U_{л.i}$ %
1	267,3	2	133,65	3×50 1×50	160	164,04	91,02	0,641	0,243	20	0,67
2	206,2	2	103,12	3×25 1×35	130	71,445	46,44	1,2	0,298	9	0,002
6	105,9	2	52,97	3×16 1×25	100	36,7	22,75	1,91	0,31	65	0,01
8	267,3	2	133,65	3×50 1×50	160	92,595	44,58	0,868	0,278	30	0,007

По величине  $\Delta U_{л,i}$  таблицы 19 все выбранные сечения СИП-2 для питающих линий подходят и могут использоваться в распределительной сети молочно-товарной фермы.

## 5.2 Распределительная сеть коровника на 200 голов КРС

В распределительной сети коровника на 200 голов КРС необходимо предусмотреть питание осветительной сети, а также установок отопления, вентиляции и удаления навоза. Для выбора типа и сечения провода сети освещения коровника на 200 голов КРС необходимо определить расчетный момент нагрузки линии. Для линий с равномерно распределенной нагрузкой момент нагрузки определяется по выражению:

$$M = L_{л,0} \cdot P_{л,0} \cdot \frac{n_{у0}}{2} \quad (43)$$

где  $L_{л,0}$  – длина линии, м;

$P_{л,0}$  – мощность линии, кВт;

$n_{у0}$  – число электроприемников, подключенных к линии, шт.

Расчетный ток в линии питания освещения определяется по выражению:

$$I_{расч} = \frac{P_{св} \cdot n_{у0}}{U_{ном} \cdot \cos \varphi} \quad (44)$$

где  $P_{св}$  – мощность одного светильника, кВт;

$U_{ном}$  – номинальное напряжение сети освещения, В;

$\cos \varphi$  – коэффициент мощности светильника, определяется по таблице 6.

Также для линий необходимо определить потери напряжения по выражению в зависимости от типа выбранного провода, длины линии ( $L_{л,0}$ ), мощности линии ( $P_{л,0}$ ):

$$\Delta U_{Л.0} = \frac{P_{Л.0} \cdot r_0 \cdot L_{Л.0}}{U_{сети}} \quad (45)$$

Выполним расчет по выражениям (43), (44) и (45) для линии Л1 согласно плану коровника на 200 голов КРС, представленном на рисунке 16.

По (43) получим:

$$M = 86,04 \cdot 0,327 \cdot \frac{12}{2} = 16 \text{ (кВт} \cdot \text{м)}$$

По (44) получим:

$$I_{расч} = \frac{0,031 \cdot 12}{220 \cdot 0,96} = 1,76 \text{ (А)}$$

По полученному значению расчетного тока для линии Л1 используя данные [4] и [17] выберем кабель типа ВВГнг(А)-FRLS-3×1,5. Удельное активное сопротивление кабеля ВВГнг(А)-FRLS-3×1,5  $r_0 = 12,1 \left(\frac{\text{Ом}}{\text{км}}\right)$ .

По (45) получим:

$$\Delta U_{Л.0} = \frac{0,327 \cdot 12,1 \cdot 86,04}{220} = 0,01 \text{ (В)}$$

Полученное расчетное значение потери напряжения в линии Л1 удовлетворяет условиям выбора, следовательно выбранный кабель ВВГнг(А)-FRLS-3×1,5 может быть использован для питания сети освещения.

Аналогично выполним расчет для остальных линий освещения помещения коровника на 200 голов КРС, результаты расчета сведем в таблицу 20.

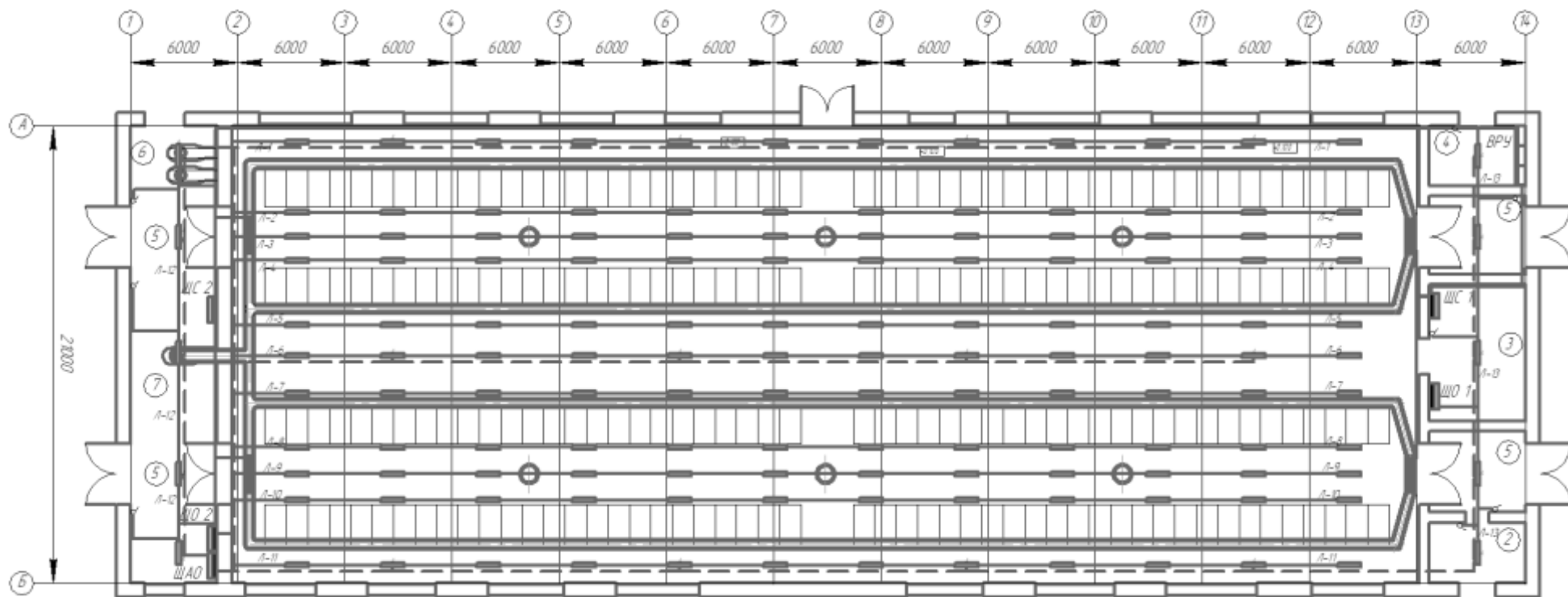


Рисунок 16 - План коровника с размещением линий освещения



Таблица 20 - Результаты выбора питающих линий освещения

Наименование линии	Длина линии, м	Число светильников, шт	Мощность ЭП, Вт	Мощность линии, кВт	Расчетный ток линии, А	Момент нагрузки, кВт·м	Тип провода	Удельное $r_0$ , Ом/км	Потеря напряжения, В
ЩО 2									
Л1	86,04	12	31	0,372	1,76	16,00344	ВВГнгFRLS 3×1,5	12,1	0,01
Л2	82,2	12	31	0,372	1,76	15,2892	ВВГнгFRLS 3×1,5	12,1	0,01
Л3	80,83	12	31	0,372	1,76	15,03438	ВВГнгFRLS 3×1,5	12,1	0,01
Л4	79,5	12	31	0,372	1,76	14,787	ВВГнгFRLS 3×1,5	12,1	0,01
Л5	75,9	12	31	0,372	1,76	14,1174	ВВГнгFRLS 3×1,5	12,1	0,01
Л6	74,15	12	31	0,372	1,76	13,7919	ВВГнгFRLS 3×1,5	12,1	0,01
Л7	72,4	12	31	0,372	1,76	13,4664	ВВГнгFRLS 3×1,5	12,1	0,01
Л8	69,04	12	31	0,372	1,76	12,84144	ВВГнгFRLS 3×1,5	12,1	0,01
Л9	67,51	12	31	0,372	1,76	12,55686	ВВГнгFRLS 3×1,5	12,1	0,01
Л10	66,04	12	31	0,372	1,76	12,28344	ВВГнгFRLS 3×1,5	12,1	0,01
Л11	65,8	12	31	0,372	1,76	12,2388	ВВГнгFRLS 3×1,5	12,1	0,01

Для установок отопления, вентиляции и удаления навоза выберем кабельные линии по выражениям (44) и (45).

Выполним выбор типа и сечения кабеля для питания установок отопления здания коровника на 200 голов КРС. Согласно плану расположения установок отопления (рисунок 16) – установки располагаются над входными воротами.

По (44) для установки отопления 1 получим:

$$I_{\text{расч}} = \frac{P_{\text{НОМ}}^{\text{ЭКО}} \cdot n_{\text{УО}}}{U_{\text{НОМ}} \cdot \cos \varphi} = \frac{45 \cdot 10^3 \cdot 1}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,89} = 76,82 \text{ (А)}$$

По расчетному значению и используя [4] и [17] примем для питания установки отопления кабель типа ВВГнг(А)-FRLS-5×90 с удельным активным сопротивлением  $r_0 = 0,19 \left( \frac{\text{Ом}}{\text{км}} \right)$ .

По (45) для установки отопления 1 получим:

$$\Delta U_{\text{Л.О}} = \frac{45 \cdot 10^3 \cdot 0,19 \cdot 9,21}{\sqrt{3} \cdot 380} = 0,12 \text{ (В)}$$

Полученное значение удовлетворяет условиям выбора и кабель ВВГнг(А)-FRLS-5×90 может быть принят к использованию.

Аналогично выполним расчет для всех остальных установок отопления, вентиляции и удаления навоза, результаты занесем в таблицу 21.

Все выбранные типы кабелей проходят по величине потери напряжения и расчетному току. Питание силовых электроприемников осуществляется от силовых щитов – ЩС1 и ЩС2, питание осветительных линий осуществляется от щитов освещения ЩО1 и ЩО2. Аварийное питание системы освещения осуществляется от щита аварийного освещения (ЩАО). Расположение всех питающих щитов показано на рисунке 16.

Таблица 21 - Выбор питающих кабелей силовых электроприемников

Электроприемник	Число ЭП, шт.	Мощность ЭП, кВт	Коэффициент мощности	Расчетный ток линии, А	Длина линии, м	Тип провода	Удельное $r_0$ , Ом/км	Потеря напряжения, В
ЩС 2								
Установка вентиляции	1	2,2	0,79	4,24	3,77	ВВГнг(А)-FRLS 5×2,5	7,41	0,09
Установка отопления 1	1	45	0,89	76,83	9,21	ВВГнг(А)-FRLS-5×90	0,19	0,12
Установка отопления 2	1	45	0,89	76,83	6,06	ВВГнг(А)-FRLS-5×90	0,19	0,08
Установка удаления навоза	2	5,5	0,83	10,07	14,42	ВВГнг(А)-FRLS 5×10	1,83	0,21
ЩС 1								
Установка отопления 3	1	45	0,89	76,83	3,32	ВВГнг(А)-FRLS-5×90	0,19	0,05
Установка отопления 4	1	45	0,89	76,83	9,79	ВВГнг(А)-FRLS-5×90	0,19	0,13

Для системы электроснабжения коровника необходимо выбрать автоматические выключатели и оборудование распределительных щитов, щитов освещения и щитов аварийного освещения.

### 5.3 Выбор коммутационных и защитных аппаратов распределительной сети коровника

Для выбора типа автоматических выключателей необходимо использовать каталоги производителей, а также расчетные значения тока, полученные в таблицах 20 и 21. В качестве базового производителя автоматических выключателей примем производителя ООО «Чинт Электрик» [7]. Результаты выбора автоматических выключателей (АВ) сведем в таблицу 22.

Таблица 22 - Результаты выбора автоматических выключателей

Наименование ЭП	Расчетный ток ЭП, А	Тип АВ	Номинальный ток АВ, А	Отключающая способность АВ, А
Установка вентиляции	4,24	NB1-63 4P 6A D	6	6000
Установка отопления 1	76,83	NXB-125 4P D	80	10000
Установка отопления 2	76,83	NXB-125 4P D	80	10000
Установка отопления 3	76,83	NXB-125 4P D	80	10000
Установка отопления 4	76,83	NXB-125 4P D	80	10000
Установка удаления навоза	10,07	NB1-63 4P 13A D	13	6000
Л1	1,76	NB1-63DC 2P C	2	6000
Л2	1,76	NB1-63DC 2P C	2	6000
Л3	1,76	NB1-63DC 2P C	2	6000
Л4	1,76	NB1-63DC 2P C	2	6000
Л5	1,76	NB1-63DC 2P C	2	6000
Л6	1,76	NB1-63DC 2P C	2	6000
Л7	1,76	NB1-63DC 2P C	2	6000
Л8	1,76	NB1-63DC 2P C	2	6000
Л9	1,76	NB1-63DC 2P C	2	6000
Л10	1,76	NB1-63DC 2P C	2	6000
Л11	1,76	NB1-63DC 2P C	2	6000

Вывод по разделу.

Представлены результаты расчета распределительной сети молочно-товарной фермы на 400 голов КРС.

Для питания зданий молочно-товарной фермы выбраны самонесущие изолированные провода типа СИП-2, с номинальными сечениями от  $3 \times 16$  до  $3 \times 50$ .

Для системы электроснабжения коровника на 200 голов КРС выполнен выбор питающих линий системы освещения стойлового помещения. Для линий освещения стойлового помещения выбран кабель типа ВВГнгFRLS  $3 \times 1,5$ . Выбранный кабель проверен по величине падения напряжения при условии равномерного распределения нагрузки вдоль питающей линии.

Выбраны питающие кабели для установок отопления, вентиляции и удаления навоза здания коровника на 200 голов КРС. Для всех электроприемников выбраны кабели марки ВВГнгFRLS с номинальным сечением токоведущей жилы от 2,5 до 90 мм<sup>2</sup>.

Для системы электроснабжения здания коровника на 200 голов КРС выбраны автоматические выключатели производителя ООО «Чинт Электрик».

## Заключение

В рамках выполнения выпускной квалификационной работы разработан проект электроснабжения агропромышленного предприятия. В качестве агропромышленного предприятия выбрана молочно-товарная ферма на 400 голов КРС.

В первом разделе выпускной квалификационной работы определено место расположения объекта – молочно-товарной фермы. Объект ВКР расположен в Самарской области, Кинель-Черкасский муниципальном районе, с. Кинель-Черкассy. Выбор места расположения объекта ВКР определено исходя из развитости муниципального района Кинель-Черкасский с точки зрения сельскохозяйственных производств, а также с точки зрения благоприятного климата в районе, способствующего продуктивной выработке сырого молока на объекте ВКР.

Определен генеральный план молочно-товарной фермы и размещения всех объектов фермы на территории. Общая площадь, занимаемая молочно-товарной фермой, составила  $S_{\text{МТФ}} = 16720,7 \text{ (м}^2\text{)}$ . Основными производственными помещениями МТФ являются два коровника на 200 голов КРС.

Рассмотрено внешнее электроснабжение с. Кинель-Черкассy. Определено, что на территории с. Кинель-Черкассy расположена подстанция 110/10 кВ «Черкассy» с установленной мощностью  $S_{\text{уст.ПС}} = 50 \text{ (МВА)}$ .

На подстанции 110/10 кВ «Черкассy» свободно для подключения  $S_{\text{свобод.ПС}} = 11,63 \text{ (кВА)}$ . Исходя из этого, подстанция 110/10 кВ «Черкассy» может быть использована как источник внешнего электроснабжения для проектируемой системы электроснабжения молочно-товарной фермы.

Во втором разделе ВКР выполнен расчет нагрузок для здания коровника на 200 голов КРС. Выполнен расчет нагрузок на отопление, вентиляцию освещение и удаления навоза. Расчеты выполнены с учетом плана здания коровника на 200 голов КРС.

Для определения нагрузок освещения здания коровника выполнен расчет числа и мощности установок внутреннего освещения с использованием специализированного ПО DIALux Evo в котором согласно плану здания смоделированы сцены общего, дежурного и аварийного освещений.

Для установки в стойловом помещении приняты светильники производства ООО «Световые Технологии» марки SLICK.PRS AGRO LED 30 4000K в количестве 132 шт. Данные светильники обеспечивают требуемый уровень освещенности для периода проведения автоматизированной дойки коров на уровне 200 лк. Для остальных помещений здания коровника выбраны светильники производства ООО «Световые Технологии» марки SIMPLE EVO (1200) 30W OPL 850 WH EM. Также для помещений здания коровника на 200 голов КРС выполнен расчет дежурного и аварийного (эвакуационного) освещений, которые выполняются теми же светильниками, которые были выбраны для установки в соответствующем помещении.

Для здания коровника на 200 голов КРС значение расчетной полной мощности составило  $S_{\text{расч}} = 205,54$  (кВА), активной мощности  $P_{\text{расч}} = 185,19$  (кВт) и реактивной мощности  $Q_{\text{расч}} = 89,16$  (квар).

Выполнен расчет мощности для всей молочной фермы с учетом значений для здания коровника на 200 голов КРС. Для всех остальных зданий молочно-товарной фермы расчет выполнен по методу удельных нагрузок. Расчетное значение активной мощности для молочно-товарной фермы на 400 голов КРС составило 586,67 кВт.

Определены значения полной мощности 667,76 (кВА) и реактивной мощности 316,7 (квар).

Построены суточные графики полной мощности для зимнего и летнего характерных дней. С учетом продолжительности летнего периода 152 дня и продолжительности зимнего периода 213 дней построены годовые упорядоченные графики активной и полной мощностей.

Расчетное значение коэффициента активной мощности молочно-товарной фермы составило  $\cos \varphi = 0,878$ .

Определено годовое значение потребляемой энергии молочно-товарной фермы на 400 голов КРС, которое составило  $W_{\Sigma} = 3859443$  кВт·ч.

Выполнен расчет требуемой мощности трансформаторов для подстанции МТФ. Для снижения мощность трансформаторов выполнен выбор мощности установок компенсации реактивной мощности.

Для установки на шинах трансформаторной подстанции МТФ приняты две установки компенсации реактивной мощности типа АУКРМ-0,4-100-20 УЗ. Выбранные установки компенсации реактивной мощности являются автоматическими с мощностью 100 квар и степенью регулирования 20 квар и номинальным напряжением 0,4 кВ.

Применение установок компенсации позволило снизить значение полной мощности МТФ. В результате для установки на ТП рассмотрены два варианта. Первый вариант с установкой двух трансформаторов марки ТМГ 630/10/0,4 кВ, а второй вариант с двумя трансформаторами ТС(Л) 630/10/0,4 кВ.

Для каждого варианта трансформаторов определены паспортные данные по каталогам производителей – ООО «Тольяттинский Трансформатор» и АО «Группа СВЭЛ», г. Екатеринбург.

Для трансформаторов определены значения оптимальных коэффициентов загрузки, которые определяют минимальные потери в трансформаторах.

Для трансформатора ТМГ 630/10/0,4 оптимальный коэффициент загрузки составил  $K_{\text{опт.з(ТМГ)}} = 0,32$ , а для трансформатора марки ТС(Л) 630/10/0,4 оптимальный коэффициент загрузки составил  $K_{\text{опт.з(ТСЛ)}} = 0,42$ .

Выбор типа трансформаторов выполнен по величине годовых нагрузочных потерь в трансформаторах. Для варианта с двумя трансформаторами ТС(Л) 630/10/0,4 получено значение годовых нагрузочных потерь по годовому графику нагрузок  $\Sigma W_{\text{ТС(Л)н}} = 34883,23$  (кВт·ч), а для варианта с трансформаторами ТМГ 630/10/0,4  $W_{\text{ТМГн}} = 34883,23$  (кВт·ч). В результате на ТП МТФ принято к установке два трансформатора марки



ТМГ 630/10/0,4 производства завода ООО «Тольяттинский трансформатор», г. Тольятти.

Для питания ТП МТФ определена трасса воздушной линии от подстанции 110/10 кВ «Черкаскы» до ТП МТФ. Длина ВЛ составляет 1,85 км. Для питания выбрана двухцепная воздушная изолированная линия (ВЛИ) выполненная проводами СИП-3 1×16. Для линии выполнена проверка по допустимому току и потере напряжения.

Представлены результаты расчета распределительной сети молочно-товарной фермы на 400 голов КРС.

Для питания зданий молочно-товарной фермы выбраны самонесущие изолированные провода типа СИП-2, с номинальными сечениями от 3×16 до 3×50.

Для системы электроснабжения коровника на 200 голов КРС выполнен выбор питающих линий системы освещения стойлового помещения. Для линий освещения стойлового помещения выбран кабель типа ВВГнгFRLS 3×1,5. Выбранный кабель проверен по величине падения напряжения при условии равномерного распределения нагрузки вдоль питающей линии.

Выбраны питающие кабели для установок отопления, вентиляции и удаления навоза здания коровника на 200 голов КРС. Для всех электроприемников выбраны кабели марки ВВГнгFRLS с номинальным сечением токоведущей жилы от 2,5 до 90 мм<sup>2</sup>.

Для системы электроснабжения здания коровника на 200 голов КРС выбраны автоматические выключатели производителя ООО «Чинт Электрик».

## Список используемой литературы и используемых источников

1. АО «Группа СВЭЛ». Технический каталог. Сухие трансформаторы // Официальный сайт производителя трансформаторного оборудования АО «Группа СВЭЛ». 2022. URL: [https://svel.ru/upload/st/katalog\\_\\_sukhie\\_transformatory\\_\\_svel\\_ru\\_\\_2022\\_06.pdf](https://svel.ru/upload/st/katalog__sukhie_transformatory__svel_ru__2022_06.pdf) (дата обращения: 05.05.2024).
2. Вентиляторы радиальные низкого давления [Электронный ресурс] // Вентиляционное и отопительное оборудование производителя ООО "Армавент" : [сайт]. [2024]. URL: <https://armavent.ru/ventilyator-vc-4-70-4> (дата обращения: 11.04.2024).
3. ГОСТ 9680-77. Трансформаторы силовые мощностью 0,01 кВ·А и более. Ряд номинальных мощностей. М.: Издательство стандартов, 1977. 4 с.
4. Завод «Севкабель». Каталог продукции // Веб-сайт компании Завод «Севкабель». 2021. URL: <https://sevkab.ru/catalog/> (дата обращения: 21.04.2024).
5. Интерактивная карта загрузки центров питания [Электронный ресурс] // Портал электросетевых услуг ПАО Россети: [сайт]. [2021]. URL: [https://xn----7sb7akeedqd.xn--p1ai/platform/portal/tehprisEE\\_centry\\_pitania](https://xn----7sb7akeedqd.xn--p1ai/platform/portal/tehprisEE_centry_pitania) (дата обращения: 05.02.2024).
6. Каталог подстанций России energybase.ru [Электронный ресурс] // Электроэнергетика. Нефть и Газ. Сайт для поставщиков energybase.ru: [сайт]. [2021]. URL: <https://energybase.ru/substation> (дата обращения: 06.02.2024).
7. Каталог продукции [Электронный ресурс] // Официальный сайт производителя ООО "Чинт Электрик": [сайт]. [2024]. URL: <https://chint.ru/catalog/> (дата обращения: 15.04.2024).
8. Конденсаторные установки АУКРМ-0,4 [Электронный ресурс] // Официальный сайт завода "Элком-Энерго" : [сайт]. [2024]. URL: <https://elcom-energo.ru/catalog/kondensatornye-ustanovki-0-4-kv-krm-ukrm-aukrm-ukm58-aku->

kku-i-drugie/reguliruemye-kondensatornye-ustanovki-aukrm-0-4/?PAGEN\_1=5

(дата обращения: 11.04.2024).

9. Липатова Н.Н., Мамай О.В., Мамай И.Н. Состояние и развитие молочного животноводства в Самарской области // Вестник Евразийской науки (The Eurasian Scientific Journal), Vol. 11, No. 5, 2019. с 1-9.

10. Министерство регионального развития Российской Федерации. СП 19.13330.2011 "Генеральные планы сельскохозяйственных предприятий". М.: ОАО "ЦПП", 2011.

11. Министерство сельского хозяйства Российской Федерации. ОСН-АПК 2.10.14.001-04 "Нормы по проектированию административных, бытовых зданий и помещений для животноводческих, звероводческих и птицеводческих предприятий и других объектов сельскохозяйственного назначения". М.: ФГНУ НПЦ «Гипронисельхоз», 2004.

12. Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства. СП 450.1325800.2019 «Агропромышленные кластеры. Правила проектирования». М.: Стандартинформ, 2019.

13. Народонаселение [Электронный ресурс] // Организация объединенных наций: [сайт]. [2023]. URL: <https://www.un.org/ru/global-issues/population> (дата обращения: 10.01.2024).

14. ОАО "ВНИИКП". Провода самонесущие изолированные и защищенные для воздушных линий электропередачи. Технические условия ТУ 16-705.500-200. М.: ОАО "ВНИИКП", 2006. Технические условия.

15. ООО "Тольяттинский Трансформатор". Трансформаторы силовые серии ТМГ // Официальный сайт производителя трансформаторного оборудования ООО "Тольяттинский Трансформатор". 2014. URL: [https://www.transformator.com.ru/upload/iblock/6e1/2014\\_Transformatory-silovye-serii-TMG.pdf](https://www.transformator.com.ru/upload/iblock/6e1/2014_Transformatory-silovye-serii-TMG.pdf) (дата обращения: 05.04.2024).

16. Постановление Правительства РФ "Об отнесении видов продукции к сельскохозяйственной продукции и к продукции первичной

переработки, произведенной из сельскохозяйственного сырья собственного производства" от 25.07.2006 № 458 // Собрание законодательства Рос.

17. Правила устройства электроустановок. 7-е изд. Москва: Издательство Проспект, 2020. 832 с.

18. Распоряжение Правительства РФ "Об утверждении стратегического направления в области цифровой трансформации отраслей агропромышленного и рыбохозяйственного комплексов РФ на период до 2030 г. и о внесении изменений в распоряжение Правительства. // <http://publication.pravo.gov.ru/>. 2023 г.

19. Смирнов АГ, editor. РТМ 36.18.32.4-92 Указания по расчету электрических нагрузок. М: ВНИПИ ТЯЖПРОМЭЛЕКТРОПРОЕКТ, 1992. 12 с.

20. СП 131.13330.2018. Свод правил. Строительная климатология. Москва. 2019.

21. СП 374.1325800.2018 Здания и помещения животноводческие, птицеводческие и звероводческие. Правила эксплуатации. М.: ФБГУ "РСТ", 2023.

22. СП 52.13330.2016 "Естественное и искусственное освещение". М.: Стандартинформ, 2018. 135 с.

23. Указ Президента РФ от 30.01.2010 № 120 «Об утверждении Доктрины продовольственной безопасности.