

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 мясокомбината

Обучающийся

М. И. Дружбин

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент, Ю.В. Черненко

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

Тольятти 2023

Аннотация

«Работа посвящена разработке проекта системы электроснабжения мясокомбината, который осуществляется с целью ввода нового объекта в эксплуатацию в связи с производственной необходимостью» [7].

«В работе выбраны основные составляющие объекта исследования, а также его составные части (силовые трансформаторы ГПП, цеховых ТП, электрические сети, основная аппаратура распределительных устройств)» [7].

Также рассчитаны и выбраны рациональные сечения проводников в системе электроснабжения объекта проектирования, включая питающие и распределительные сети.

«Исходя из этого, на основе расчётных данных, выбраны для применения в работе современные технические решения, аргументированный выбор которых основан на анализе современных разработок и моделей ведущих мировых и отечественных производителей» [12].

Принятые в работе решения обязательно проверяются на термическую и динамическую стойкость к максимальным токам короткого замыкания, рассчитанным в работе.

Работа содержит 61 страницу печатного текста, для визуализации материалов использовано 10 рисунков и 14 таблиц.

Содержание

Введение	4
1 Краткая характеристика предприятия	6
1.1 Техническая характеристика мясокомбината	6
2 Определение расчетных нагрузок по цехам и в целом по предприятию	12
3 Выбор количества, типа и номинальной мощности трансформаторов	20
3.1 Выбор рациональных номинальных напряжений ГПП схемы электроснабжения мясокомбината	20
3.2 Выбор силовых трансформаторов на ГПП и цеховых ТП	21
4 Анализ и выбор схемы для распределения электроэнергии по территории мясокомбината	28
5 Расчёт токов коротких замыканий	34
6 Выбор электрических аппаратов и проводников на ГПП предприятия	43
6.1 Выбор и проверка проводников на ГПП мясокомбината	43
6.2 Выбор и проверка электрических аппаратов на ГПП мясокомбината ..	48
Заключение	57
Список используемых источников	60

Введение

Структура и организационные формы промышленного хозяйства весьма разнообразны и зависят от типа производства, вида выпускаемой продукции, ее конструкторской и технологической сложности и объема производства [1].

Основное направление для реализации в производстве пищевой продукции – обеспечения изготовления качественной продукции при уменьшении затрат на энергоносители всех типов. Одним из путей решения является усовершенствование данной составляющей путём модернизации основного оборудования и сетей в системе электроснабжения как данного предприятия, так и вне его.

«В связи с этим, в работе разрабатывается проект системы внешнего электроснабжения мясокомбината, являющимся отдельным самостоятельным подразделением производственного цикла крупного промышленного узла. Система электроснабжения таких объектов, как правило, является полностью самостоятельным звеном и вводится в эксплуатацию только после разработки и согласования качественного проекта» [7].

«Основной целью работы является разработка проекта внешней системы электроснабжения мясокомбината, осуществляемая с целью ввода данного объекта в эксплуатацию в связи с производственной необходимостью» [12].

«Объектом исследования в данной работе является электрическая часть внешней системы электроснабжения мясокомбината» [7].

«Предметом исследования в работе выступает электрическая принципиальная схема внешнего электроснабжения объекта исследования, а также её составные части (силовые трансформаторы ГПП и цеховых ТП, электрические сети, аппаратура распределительных устройств)» [7].

Для реализации основной цели работы, решаются следующие основные поставленные задачи:

- анализ исходных данных по объекту исследования с рассмотрением характеристик потребителей и технологического процесса на предприятии;
- определение расчетных нагрузок по цехам и в целом по предприятию;
- выбор количества, типа и номинальной мощности цеховых трансформаторов на питающей ГПП и цеховых ТП предприятия;
- анализ и выбор схемы для распределения электроэнергии по территории мясокомбината;
- расчет токов КЗ;
- выбор электрических аппаратов и проводников на ГПП предприятия.

Мероприятия по проектированию объекта (мясокомбината) решаются в работе далее.

1 Краткая характеристика предприятия

1.1 Техническая характеристика мясокомбината

Увеличение спроса на изделия из мяса, а также близость логистических цепей и наличие необходимых мощностей обуславливает целесообразность ввода в эксплуатацию системы электроснабжения данного объекта.

Рассматриваемый в работе объект проектирования (мясокомбинат), выполняет роль предприятия, обеспечивающего производство и реализацию потребителям различных мясных изделий различного типа (колбас, консерв, полуфабрикатов и прочих изделий).

Исходя из технологических требований, рассматриваемое в работе мясоперерабатывающее производство, включает совокупность цехов и участков для выполнения технологических операций по производственному циклу готовой продукции.

На проектируемом мясокомбинате выпускается широкий ассортимент продукции.

Технология производства той или иной продукции на мясокомбинате напрямую зависит от вида и типа этого продукта.

Технологическая схема производства основных видов продукции мясокомбината очень разнообразна, поэтому ниже рассматривается основная из них.

Технологическая схема производственного процесса производства мясных изделий на мясокомбинатах представлена на рисунке 1.

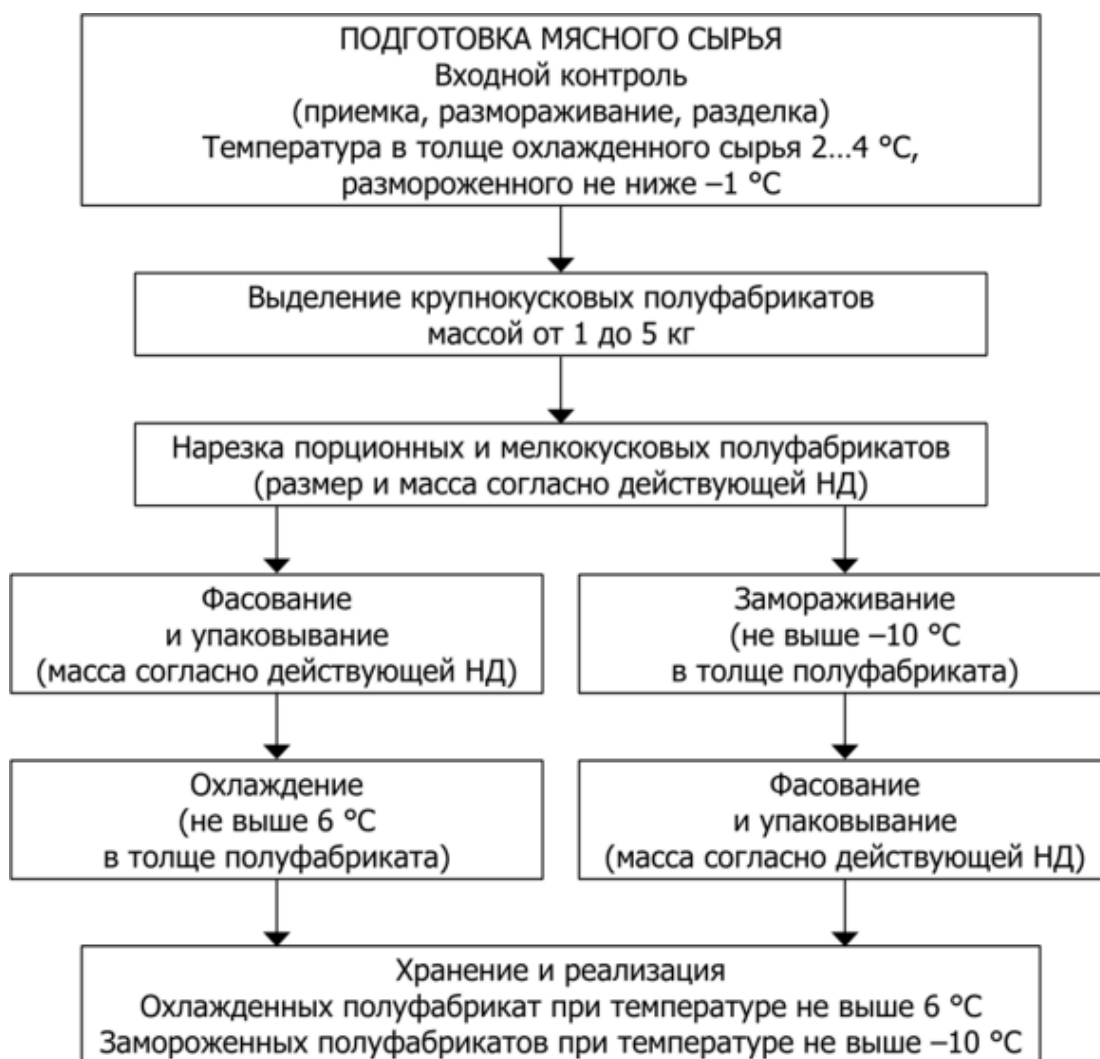


Рисунок 1 – Технологическая схема производственного процесса производства мясных изделий на мясокомбинатах

Таким образом, исходя из технологической схемы производственного процесса производства мясных изделий на мясокомбинатах, на объекте проектирования можно выделить следующие основные этапы производства:

- подготовительный этап – включает доставку, хранение и транспортирование исходных материалов, применяемых в технологическом процессе изготовления мясных изделий, а также подготовку первичного материала и сырья для производства;
- основной производственный этап – предусматривает непосредственное изготовление мясных изделий в зависимости от их вида и типа, с последующей упаковкой и маркировкой готовой продукции;

- заключительный этап – включает контроль качества готовой продукции, хранение и доставку потребителю.

В рассматриваемой системе электроснабжения мясокомбината, имеется три «основных корпуса» [7]. С учётом исходных данных на выполнение задания, к основным производственным корпусам мясокомбината относятся:

- цех полуфабрикатов;
- консервный цех;
- колбасный цех.

Перечисленные производственные корпуса являются основными в системе электроснабжения мясокомбината.

Помимо них, к вспомогательным подразделениям относятся:

- «технологический комплекс обеспечения основного производства [7]. Включает: холодильник, здание загона скота, здание предубойного содержания скота, здание санбойни;
- технический комплекс обеспечения основного производства. «Включает в себя оборудование насосной, котельной и компрессорной с» [12] высоковольтными электродвигателями напряжением 10 кВ;
- ремонтно-эксплуатационные службы (электроцех, РМЦ, гараж, деревообрабатывающий участок;
- «складской комплекс – служит для хранения первичного сырья и запасных материалов» [7], а также готовой продукции и сопутствующих материалов, включает склад и овощехранилище;
- прочие объекты – не является непосредственным звеном основного технологического процесса, к ним относятся: административное помещение и зоопарк.

Таким образом, установлено, что в структуре проектируемого мясокомбината присутствует двадцать структурных комплексов (подразделений), из них три являются основными производственными

подразделениями, остальные – вспомогательными производственными и непроизводственными (таблица 1).

Таблица 1 – Исходные данные на проектирование

Номер по плану	Наименование цеха (участка)	Проектная мощность, $P_{пр}$, кВт	Назначение цеха (участка)	Категория надёжности
1	Административное помещение	140	Неосновной вспомогательный	III
2	Цех полуфабрикатов	480	Основной производственный	I
3	Консервный цех	260	Основной производственный	I
4	Холодильник	180	Основной вспомогательный	II
5	Насосная (10 кВ)	1850	Основной вспомогательный	II
	Насосная (0,38/0,22 кВ)	150		
6	Электролитный жестяно-баночный	270	Основной вспомогательный	II
7	РМЦ	290	Неосновной вспомогательный	III
8	Компрессорная (10 кВ)	1350	Основной вспомогательный	II
	Компрессорная (0,38/0,22 кВ)	210		
9	Здание загона скота	34	Основной вспомогательный	II
10	Здание преубойного содержания скота	17	Основной вспомогательный	II
11	Холодильник	50	Основной вспомогательный	II
12	Колбасный цех	1920	Основной производственный	I
13	Гараж	50	Неосновной вспомогательный	III
14	Склад	620	Неосновной вспомогательный	III
15	Деревообрабатывающий	110	Неосновной вспомогательный	III
16	Котельная	600	Основной вспомогательный	II
17	Здание санбойни	170	Основной вспомогательный	II
18	Зоопарк	420	Неосновной вспомогательный	III
19	Овощехранилище	180	Неосновной вспомогательный	III
20	Электроцех	920	Неосновной вспомогательный	III
Всего по мясокомбинату		10271	-	I, II, III

По номинальному напряжению потребителей основных подразделений проектируемой системы электроснабжения цехов и участков мясокомбината можно сделать вывод, что все потребители, за исключением мощных высоковольтных электродвигателей напряжением 10 кВ насосной и компрессорной, относятся к электроприёмникам низкого номинального напряжения (0,38/0,22 кВ).

План расположения основных подразделений на территории мясокомбината представлен на рисунке 2.

Спецификация объектов соответствует данным, приведённым в таблице 1.

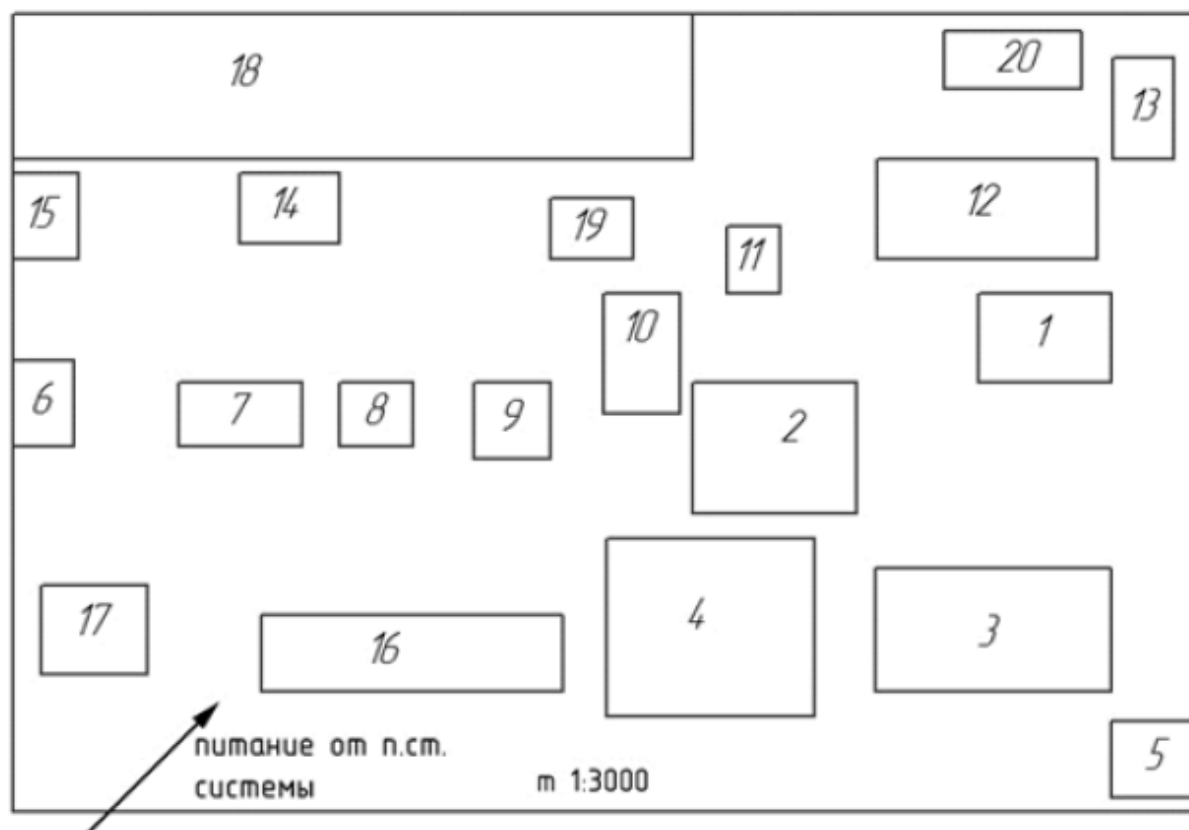


Рисунок 2 – План расположения основных подразделений на территории мясокомбината

«Учитывая приведённую информацию, далее в работе проводится решение основных поставленных задач по проектированию внешней системы электроснабжения мясокомбината» [7].

Выводы по разделу.

«Приведено описание и анализ технологического процесса, а также основных и вспомогательных подразделений, проектируемой системы электроснабжения нового мясокомбината, с детальным их анализом и систематизацией по принадлежности к категориям надёжности, а также по» [15] условиям технологического процесса.

Обусловлена актуальность выбора темы, с последующим анализом технических данных нагрузки потребителей.

Приведён перечень основных задач, который требуется решить в работе для достижения поставленной цели.

Проведён анализ основных требований, предъявляемых к схемам главных электрических соединений нормального режима систем электроснабжения мясокомбината.

Показано, что разработка качественного проекта системы электроснабжения мясокомбината, с внедрением основных групп мероприятий, будет способствовать значительному повышению параметров надёжности, бесперебойности, качества, электробезопасности и экономичности на объекте исследования.

Приведённая информация является основой для проектирования системы электроснабжения объекта, которое осуществляется в работе далее.

2 Определение расчетных нагрузок по цехам и в целом по предприятию

Далее в работе, для достижения поставленной цели, необходимо провести расчёт электрических нагрузок потребителей системы электроснабжения мясокомбината, результаты которых далее будут использованы для расчёта максимальных рабочих токов с последующими выбором и проверкой силовых трансформаторов, проводников линий, сборных шин, а также нового основного оборудования распределительных устройств электрической части ГПП и цеховых ТП объекта проектирования.

На основании рассчитанных значений электрических нагрузок потребителей системы электроснабжения мясокомбината, далее в работе будет рассчитано значение следующих токов, по которым необходимо провести выбор основного оборудования ГПП-110/10 кВ объекта проектирования:

- токов нормального режима;
- максимальных рабочих токов (токов послеаварийного режима).

Также на основе расчётных данных суммарной нагрузки узлов, необходимо выбрать трансформаторы для установки на ГПП и цеховых ТП.

Наиболее оптимальным и рациональным «методом при расчёте значений электрических нагрузок, является метод коэффициента спроса, который учитывает, насколько загружены производственные мощности предприятия в зависимости от его группы принадлежности» [8].

«Основой для расчёта электрических нагрузок системы электроснабжения мясокомбината является установленная номинальная нагрузка потребителей, $P_{уст}$, которая принимается равной расчётной активной нагрузке» [8] с учётом коэффициента спроса, показывающий, насколько рационально используется электроэнергия в системе электроснабжения объекта [8].

По известному числу и мощности потребителей на заданном напряжении, определяется значения активной нагрузки потребителей электрической части системы электроснабжения мясокомбината в максимальном режиме работы системы (по фактическим данным нагрузок объекта проектирования):

$$P_{p.} = K_c P_n, \quad (1)$$

«где P_n – значение суммарной номинальной активной мощности цеха (участка) проектируемого мясокомбината, кВт» [8];
« K_c – справочное значение коэффициента спроса цеха(участка) проектируемого мясокомбината» [8].

«Расчетная реактивная нагрузка силовых электроприёмников соответствующего цеха (участка) проектируемого мясокомбината, квар» [6]:

$$Q_{p.} = P_{p.} \cdot \operatorname{tg}\varphi, \quad (2)$$

«где $\operatorname{tg}\varphi$ – значение коэффициента реактивной мощности, о.е.» [8].
«Принимается по справочным данным. Соответствует $\cos\varphi$ » [16].

«Расчетная полная нагрузка силовых электроприёмников соответствующего цеха (участка) проектируемого мясокомбината, кВА» [6]:

$$S_{p.} = \sqrt{P_{p.}^2 + Q_{p.}^2}. \quad (3)$$

«В работе, помимо силовой расчётной нагрузки объекта, также необходимо провести расчёты осветительной нагрузки мясокомбината, исходя из площади, которая подлежит освещению» [19].

«Расчётная нагрузка осветительных приёмников цеха (участка) проектируемого мясокомбината, кВт» [1]:

$$P_{p.o} = K_{c.o} P_{n.o}, \quad (4)$$

«где $K_{c.o}$ – справочный коэффициент спроса освещения цеха (участка) проектируемого мясокомбината» [4];

« $P_{n.o}$ – суммарная номинальная мощность приемников освещения цеха (участка) проектируемого мясокомбината, кВт» [1].

«При этом» [1]:

$$P_{n.o} = P_{уд.o} F, \quad (5)$$

«где $P_{уд.o}$ – нормируемая удельная мощность освещения цеха (участка) проектируемого мясокомбината, кВт/м²» [4];

« F – площадь соответствующего цеха (участка) проектируемого мясокомбината согласно генплану, м²» [1].

«Реактивная нагрузка освещения определяется по условию (2)» [7].

«Полная нагрузка силовых и осветительных приёмников соответствующего цеха (участка) проектируемого мясокомбината» [1]:

$$S_p = \sqrt{(P_n + P_{n.o})^2 + Q_p^2}. \quad (6)$$

«Предварительные потери активной и реактивной» [16] мощности в цеховых трансформаторах ЦТП системы электроснабжения мясокомбината:

$$\Delta P_{ТЦ} = 0,02 S_{p.n}, \text{ кВт}; \quad (7)$$

$$\Delta Q_{ТЦ} = 0,1 S_{p.n}, \text{ квар}. \quad (8)$$

Потери активной мощности в трансформаторах ГПП системы электроснабжения мясокомбината [16]:

$$\Delta P_{T.ГПП} = 0,02 S_{p,\Sigma}, \text{ кВт}; \quad (9)$$

$$\Delta Q_{T.ГПП} = 0,1 S_{p,\Sigma}, \text{ квар}. \quad (10)$$

Расчёт электрических нагрузок в работе проводится на примере цеха подготовки основного производства системы электроснабжения мясокомбината по условиям (1) – (3).

Расчётная активная нагрузка силовых потребителей цеха полуфабрикатов системы электроснабжения мясокомбината по условию (1):

$$P_{p.} = 480 \cdot 0,4 = 192 \text{ кВт}.$$

«Расчётная реактивная нагрузка силовых потребителей цеха полуфабрикатов» [11] мясокомбината по условию (2):

$$Q_{p.} = 192 \cdot 1,17 = 224,64 \text{ квар}.$$

Расчётная полная расчётная нагрузка силовых потребителей цеха полуфабрикатов системы электроснабжения мясокомбината по условию (3):

$$S_{p.} = \sqrt{(192 + 224,64)^2} = 295,51 \text{ кВА}.$$

Результаты расчёта электрических нагрузок остальных цехов системы электроснабжения мясокомбината рассчитаны аналогично.

В работе проводится отдельные расчёты для силовой, осветительной и суммарной нагрузки при проектировании «системы электроснабжения мясокомбината (таблицы 2-4)» [7].

«Результаты расчёта электрических нагрузок осветительной сети системы электроснабжения мясокомбината представлены в таблице 2» [7].

Таблица 2 – Результаты расчёта электрических нагрузок осветительной сети системы электроснабжения мясокомбината

Цех	А, м	В, м	$F_{ц}, м^2$	$P_{уд.о.}, Вт/м^2$	$P_{ном.о.}, кВт$	$K_{с.о}$	тип лампы	$K_{пр.а}$	$tg\varphi_o$	$P_{р.о.}, кВт$	$Q_{р.о.}, квар$
Административное помещение	10	20	200	19	3,8	0,95	LED	1,05	0,43	3,79	1,63
Цех полуфабрикатов	20	20	400	19	7,6	0,95	LED	1,05	0,43	7,58	3,27
Консервный цех	30	30	900	20	18	0,95	LED	1,05	0,43	17,96	7,74
Холодильник	40	40	1600	18	28,8	0,95	LED	1,05	0,43	28,73	12,38
Насосная (0,38 кВ)	10	15	150	19	2,85	0,95	LED	1,05	0,43	2,84	1,23
Электролитный жестяно-баночный	10	12	120	15	1,8	0,95	LED	1,05	0,43	1,80	0,77
РМЦ	12	12	144	15	2,16	0,95	LED	1,05	0,43	2,15	0,93
Компрессорная (0,38 кВ)	10	12	120	16	1,92	0,95	LED	1,05	0,43	1,92	0,83
Здание загона скота	15	15	225	19	4,275	0,95	LED	1,05	0,43	4,26	1,84
Здание преубойного содержания скота	15	25	375	12	4,5	0,95	LED	1,05	0,43	4,49	1,94
Холодильник	10	12	120	18	2,16	0,95	LED	1,05	0,43	2,15	0,93
Колбасный цех	30	25	750	20	15	0,95	LED	1,05	0,43	14,96	6,45
Гараж	10	25	250	20	5	0,95	LED	1,05	0,43	4,99	2,15
Склад	20	15	300	15	4,5	0,95	LED	1,05	0,43	4,49	1,94
Деревообрабатывающий	10	12	120	15	1,8	0,95	LED	1,05	0,43	1,80	0,77
Котельная	12	50	600	16	9,6	0,95	LED	1,05	0,43	9,58	4,13
Здание санбойни	20	20	400	16	6,4	0,95	LED	1,05	0,43	6,38	2,75
Зоопарк	200	50	10000	14	140	0,95	LED	1,05	0,43	139,65	60,20
Овощехранилище	15	18	270	14	3,78	0,95	LED	1,05	0,43	3,77	1,63
Электроцех	25	12	300	16	4,8	0,95	LED	1,05	0,43	4,79	2,06
Наружное освещение территории завода	300	200	60000	4	240	0,95	LED	1,05	0,43	239,40	103,20
Всего освещения по мясокомбинату			77344	-	508,75		LED	-	-	507,47	218,76

«Результаты расчёта электрических нагрузок силовой сети системы электроснабжения мясокомбината представлены в таблице 3» [7].

Таблица 3 – Результаты расчёта электрических нагрузок силовой сети системы электроснабжения мясокомбината

Наименование цеха	$\sum P_{уст},$ кВт	Kc	$cos\varphi$	$tg\varphi$	$P_{p,},$ кВт	$Q_{p,},$ квар	$S_{p,},$ кВА
Административное помещение	140	0,35	0,60	1,33	49,00	65,17	81,54
Цех полуфабрикатов	480	0,40	0,65	1,17	192,00	224,64	295,51
Консервный цех	260	0,40	0,65	1,17	104,00	121,68	160,07
Холодильник	180	0,65	0,65	1,17	117,00	136,89	180,08
Насосная (0,38 кВ)	150	0,80	0,80	0,75	120,00	90,00	150,00
Электролитный жестяно-баночный	270	0,65	0,65	1,17	175,50	205,34	270,12
РМЦ	290	0,80	0,80	0,75	232,00	174,00	290,00
Компрессорная (0,38 кВ)	210	0,65	0,65	1,17	136,50	159,71	210,09
Здание загона скота	34	0,80	0,80	0,75	27,20	20,40	34,00
Здание преубойного содержания скота	17	0,65	0,65	1,17	11,05	12,93	17,01
Холодильник	50	0,80	0,80	0,75	40,00	30,00	50,00
Колбасный цех	1920	0,65	0,65	1,17	1248,00	1460,16	1920,83
Гараж	50	0,80	0,80	0,75	40,00	30,00	50,00
Склад	620	0,65	0,65	1,17	403,00	471,51	620,27
Деревообрабатывающий	110	0,80	0,80	0,75	88,00	66,00	110,00
Котельная	600	0,65	0,65	1,17	390,00	456,30	600,26
Здание санбойни	170	0,80	0,80	0,75	136,00	102,00	170,00
Зоопарк	420	0,65	0,65	1,17	273,00	319,41	420,18
Овощехранилище	180	0,80	0,80	0,75	144,00	108,00	180,00
Электроцех	920	0,65	0,65	1,17	598,00	699,66	920,40
Всего по 0,4 кВ	-	-	-	-	4524,25	4953,79	6708,86
Насосная (10 кВ)	1850	0,80	0,80	0,75	1480,00	1110,00	1850,00
Компрессорная (10 кВ)	1350	0,65	0,65	1,17	877,50	1026,68	1350,58
Всего по 10 кВ	-	-	-	-	2357,50	2136,68	3181,70
Всего силовой нагрузки по мясокомбинату	-	-	-	-	6881,75	7090,46	9880,95

Результаты расчёта электрических суммарных нагрузок, с учётом полученных расчётных данных нагрузок по силовой и осветительной сети системы электроснабжения мясокомбината, представлены в работе в форме таблицы 4.

Таблица 4 – Результаты расчёта суммарных электрических нагрузок системы электроснабжения мясокомбината

Наименование цеха	$P_{p.n.}$, кВт	$P_{p.o.}$, кВт	$Q_{p.n.}$, квар	$Q_{p.o.}$, квар	P_p , кВт	Q_p , квар	S_p , кВ·А	ΔP_T , кВт	ΔQ_T , квар
Административное помещение	49	3,79	65,17	1,63	52,79	66,80	85,14	1,70	8,51
Цех полуфабрикатов	192	7,58	224,64	3,27	199,58	227,91	199,58	3,99	19,96
Консервный цех	104	17,96	121,68	7,74	121,96	129,42	177,83	3,56	17,78
Холодильник	117	28,73	136,89	12,38	145,73	149,27	208,61	4,17	20,86
Насосная	120	2,84	90,00	1,23	122,84	91,23	153,01	3,06	15,30
Электролитный жестяно-баночный	175,5	1,80	205,34	0,77	177,30	206,11	271,87	5,44	27,19
РМЦ	232	2,15	174,00	0,93	234,15	174,93	234,15	4,68	23,42
Компрессорная	136,5	1,92	159,71	0,83	138,42	160,53	211,96	4,24	21,20
Здание загона скота	27,2	4,26	20,40	1,84	31,46	22,24	38,53	0,77	3,85
Здание преубойного содержания скота	11,05	4,49	12,93	1,94	15,54	14,86	21,50	0,43	2,15
Холодильник	40	2,15	30,00	0,93	42,15	30,93	42,15	0,84	4,22
Колбасный цех	1248	14,96	1460,16	6,45	1262,96	1466,61	1935,46	38,71	193,55
Гараж	40	4,99	30,00	2,15	44,99	32,15	55,29	1,11	5,53
Склад	403	4,49	471,51	1,94	407,49	473,45	624,66	12,49	62,47
Деревообрабатывающий	88	1,80	66,00	0,77	89,80	66,77	89,80	1,80	8,98
Котельная	390	9,58	456,30	4,13	399,58	460,43	609,64	12,19	60,96
Здание санбойни	136	6,38	102,00	2,75	142,38	104,75	176,77	3,54	17,68
Зоопарк	273	139,65	319,41	60,20	412,65	379,61	560,70	11,21	56,07
Овощехранилище	144	3,77	108,00	1,63	147,77	109,63	147,77	2,96	14,78
Электроцех	598	4,79	699,66	2,06	602,79	701,72	602,79	12,06	60,28
Наружное освещение территории	-	239,40	-	103,20	239,40	103,20	260,70	5,21	26,07
Итого на стороне 10 кВ, без учёта компенсации РМ	4524,25	507,47	4953,79	218,76	5031,72	5172,55	6707,92	134,16	670,79
Потери в трансформаторах ГПП с учётом компенсации РМ	-	-	-	-	234,79	1705,30	1721,39	34,43	172,14
Итого на стороне ВН	-	-	-	-	5266,52	3467,25	6305,39	-	-

Таким образом, в работе рассчитаны нагрузки отдельных цехов и потребителей, а также всей системы электроснабжения мясокомбината в целом, исходя из расчётных коэффициентов, установленной мощности

нагрузок и режима работы системы электроснабжения объекта проектирования.

Выводы по разделу.

В работе, исходя из выходных технических данных на выполнение работы, с учётом справочных нормативных коэффициентов, проведён расчёт электрической нагрузки системы электроснабжения мясокомбината.

Рассчитаны нагрузки отдельных цехов и потребителей, а также всей системы электроснабжения мясокомбината в целом, исходя из расчётных коэффициентов, установленной мощности нагрузок и режима работы системы электроснабжения объекта проектирования.

Полученные результаты электрических нагрузок отдельных цехов и потребителей, а также всей системы электроснабжения мясокомбината в целом, будут использованы для расчёта максимальных рабочих токов с последующими выбором и проверкой силовых трансформаторов, проводников линий, сборных шин, а также нового основного оборудования распределительных устройств электрической части ГПП и цеховых ТП объекта проектирования.

3 Выбор количества, типа и номинальной мощности трансформаторов

3.1 Выбор рациональных номинальных напряжений ГПП схемы электроснабжения мясокомбината

Далее в работе проводится выбор рациональных номинальных напряжений схемы внешнего электроснабжения мясокомбината.

Рассматриваются номинальные классы напряжения для применения во внешней и внутренней схемах электроснабжения объекта проектирования.

Согласно формуле Стила:

$$U_{рац} = 4,34\sqrt{L + 16 \cdot P}, \quad (11)$$

где L – «длина питающей линии, км» [10];

P - «суммарная передаваемая мощность в сети, МВт» [12].

«По условию (11) для ГПП внешней СЭС проектируемого мясокомбината» [1]:

$$U_{рац} = 4,34\sqrt{7,5 + 16 \cdot 10,271} = 56,89 \text{ кВ}.$$

«Исходя из номинальных напряжений, применяемых в электрической сети Российской Федерации, принимается ближайшее стандартное значение номинального напряжения» [7] внешней системы электроснабжения проектируемого объекта, равного значению 110 кВ (с учётом перспективы развития электрической сети промышленного района, в котором предусматривается сооружение проектируемого мясокомбината) [3].

При выборе напряжения внутренней системы и схемы электроснабжения проектируемого мясокомбината, исходя из той же шкалы

номинальных напряжений, и учитывая рекомендации [7], принимается номинальное напряжение 10 кВ, которое эффективнее напряжения 6 кВ.

Таким образом, окончательно установлено, что питание проектируемой системы электроснабжения мясокомбината, целесообразно осуществить от главной понизительной подстанции (ГПП) с номинальными классами напряжения 110/10 кВ. На основе полученных расчётных данных, далее в работе проводится решение поставленных основных задач по выбору трансформаторов ГПП-110/10 В и цеховых ТП-10/0,4 кВ.

3.2 Выбор силовых трансформаторов на ГПП и цеховых ТП

Проводится выбор числа и мощности трансформаторов для установки на понизительных подстанциях проектируемой системы электроснабжения мясокомбината. Исходя из принятой схемы электроснабжения объекта проектирования, выбор трансформаторов необходимо провести на таких системных подстанциях завода:

- на главной понизительной подстанции (ГПП-110/10 кВ);
- на всех цеховых трансформаторных подстанциях (в зависимости от их количества).

«Как было указано ранее, на главной понизительной подстанции ГПП-110/10 кВ в системе электроснабжения» [7] мясокомбината проектирования, в связи с наличием значительной группы потребителей, относящихся к 1 и 2 категории надёжности, рекомендовано установить два силовых трансформатора 110/10 кВ с системой охлаждения, обладающей принудительным воздушным дутьём и регулировкой напряжения ответвлений НН под нагрузкой (система РПН).

Учитывая полученные значения показателей и технических данных, полученных в результате расчёта нагрузки потребителей системе электроснабжения мясокомбината, проводится расчётная проверка мощности новых трансформаторов на ГПП предприятия.

С учётом систематических нагрузок, а также вероятности послеаварийных перегрузок в системе электроснабжения мясокомбината, расчётная мощность трансформатора на питающей заводской ГПП-110/10 кВ определяется из соотношения [10]:

$$S_{ном.} \geq \frac{S_p}{N \cdot k_{загр}}, \quad (11)$$

«где $k_{загр}$ – рекомендуемый коэффициент загрузки трансформаторов на подстанциях систем электроснабжения, о.е.» [10];

« n – количество трансформаторов, шт.» [11].

$$S_{ном} \geq \frac{6305,39}{2 \cdot 0,7} = 4503,85 \text{ кВА.}$$

«Предварительно выбираются два силовых трансформатора марки ТМН-6300/110 на ГПП мясокомбината» [14].

«Известно, что силовой трансформатор на подстанции в нормальном режиме» [15] должен работать с коэффициентом загрузки, не превышающим значение 0,7.

Это условие выражается так [15]:

$$K_{з.н.} = \frac{S_p}{n \cdot S_{ном}} \leq 0,7. \quad (12)$$

Таким образом, коэффициент загрузки трансформатора подстанции ГПП-110/10 кВ в системе электроснабжения мясокомбината в «нормальном режиме не превышает предельно установленные значения» [7]:

$$K_{з.н.} = \frac{6305,39}{2 \cdot 6300} = 0,5 \leq 0,7.$$

В послеаварийном режиме коэффициент загрузки трансформатора не должен быть выше значения 1,4, с учётом нагрузки всей ГПП-110/10 кВ, которая будет приходиться на один трансформатор, оставшийся в работе [11]:

$$K_{3.A} = \frac{S_P}{S_{ном}} \leq 1,4. \quad (13)$$

Коэффициент загрузки трансформатора ГПП-110/10 кВ в системе электроснабжения мясокомбината, в послеаварийном режиме также удовлетворяет условию:

$$K_{3.A} = \frac{6305,39}{6300} = 1,0009 \leq 1,4.$$

Таким образом, в работе расчётным путём установлено, что для питания проектируемой внешней системы электроснабжения мясокомбината, «на ГПП-110/10 кВ объекта проектирования целесообразно установить два силовых трансформатора номинальной мощностью 6300 кВА каждый (марки ТМН-6300/110)» [2].

Далее в работе необходимо рассчитать суммарную нагрузку указанных ТП-10/0,4 кВ, так как они являются нагрузкой РУ-10 кВ ГПП-110/10 кВ проектируемой системы внешнего электроснабжения мясокомбината.

С учётом неравномерности распределения нагрузки на территории предприятия, в работе предлагается:

- выбрать все цеховые ТП-10/0,4 кВ двухтрансформаторными, что значительно упростит подключение всех потребителей и уменьшит количество подстанций и промежуточных звеньев;
- в первую очередь, предусмотреть питание потребителей I и II категорий надёжности от каждой цеховой ТП-10/0,4 кВ двумя линиями от разных трансформаторов, потребители III категории

подключать к существующим ТП-10/0,4 кВ с учётом близости и максимальной допустимой нагрузки на трансформаторы подстанций.

Исходя из этого, в системе внутреннего электроснабжения мясокомбината, для питания нагрузки цехов и участков предприятия, в работе предусмотрены три двухтрансформаторные подстанции ТП-10/0,4 кВ.

Они устанавливаются на всех трёх производственных объектах, относящихся к I категории надёжности (основные производственные отделения, относящихся к I категории надёжности).

Таким образом, данные цеховые ТП-10/0,4 кВ будут находиться в таких цехах:

- ТП-1 – цех полуфабрикатов;
- ТП-2 – консервный цех;
- ТП-3 – колбасный цех.

От них получают питание потребители II категорий двумя кабельными линиями (с резервированием), и потребители III категории одной кабельной линией (без резервирования).

При этом основным критерием для присоединения цехов к той или иной цеховой ТП-10/0,4 кВ, являются следующие основные факторы:

- близость расположения цехов к соответствующим цеховым ТП;
- суммарная номинальная мощность группы потребителей, которая регламентируется и ограничивается «потолком» номинальных мощностей силовых трансформаторов 10/0,4 кВ;
- суммарное количество цехов (участков), которые присоединяются к одной ТП (рекомендуется присоединять к одной цеховой ТП не более 10-12 цехов (участков) предприятия), что ограничено количеством присоединений в распределительных устройствах ВН и НН на цеховых ТП.

Таким образом, проводится расчёт нагрузки и выбор «силовых трансформаторов для установки на цеховых ТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения мясокомбината» [7]:

$$S_{\text{ном.т}} \geq S_{\text{ном.т.р}} = \frac{\Sigma P_{\text{р.}}}{N\beta_{\text{т}}}, \quad (14)$$

«Где $S_{\text{ном.т.р}}$ – расчетная мощность силового трансформатора, кВА» [12];

« $\Sigma P_{\text{р.}}$ – активная нагрузка объектов, питающихся от ЦТП, кВт» [12];

« N – количество трансформаторов цеховой ТП, шт.» [12].

«Расчёт и выбор мощности силовых трансформаторов на цеховых ТП в работе проводится на примере ТП-1 внутренней СЭС мясокомбината по условию» [7] (19).

При этом, суммарная активная нагрузка, которая приходится на ТП-1, равна сумме цехов, которые получают от неё питание:

$$\Sigma P_{\text{р.}} = P_{\text{р.1}} + P_{\text{р.2}} + \dots + P_{\text{р.н}}. \quad (15)$$

Суммарная расчётная активная нагрузка цеховой ТП-1 (10/0,4 кВ) по условию (15):

$$\begin{aligned} \Sigma P_{\text{р.}} = & 199,58 + 234,15 + 138,42 + 31,46 + \\ & + 15,54 + 42,15 + 407,49 + 147,77 = 1216,56. \end{aligned}$$

Расчётная мощность силового трансформатора для установки на ТП-1:

$$S_{\text{ном.т}} \geq S_{\text{ном.т.р}} = \frac{1216,56}{2 \cdot 0,8} = 760,35 \text{ кВА}.$$

«Для установки на цеховой ТП-1 внутренней СЭС мясокомбината, в работе приняты два силовых трансформатора марки ТМГ-1000/10» [12].

«Выбор остальных трансформаторов цеховых ТП-10/0,4 кВ проведён аналогично и результаты приведены в таблице 5» [11].

Таблица 5 – Результаты выбора трансформаторов цеховых ТП-10/0,4 кВ

Номер цеховой ТП	Наименование цеха (участка)	P_p , кВт	$P_{p.ТП}$, кВт	Категория надёжности	Количество (единиц) и тип силовых трансформаторов
ТП-1	Цех полуфабрикатов	199,58	1216,56	I	2×ТМГ-1000/10У1
	РМЦ	234,15		III	
	Компрессорная	138,42		II	
	Здание загона скота	31,46		II	
	Здание преубойного содержания скота	15,54		II	
	Холодильник	42,15		II	
	Склад	407,49		III	
	Овощехранилище	147,77		III	
ТП-2	Консервный цех	121,96	1199,59	I	2×ТМГ-1000/10У1
	Холодильник	145,73		II	
	Насосная	122,84		II	
	Котельная	399,58		II	
	Здание санбойни	142,38		II	
	Электролитный жестяно-баночный	177,30		II	
	Деревообрабатывающий	89,80		III	
ТП-3	Колбасный цех	1262,96	2376,18	I	2×ТМГ-1600/10У1
	Административное помещение	52,79		III	
	Гараж	44,99		III	
	Зоопарк	412,65		III	
	Электроцех	602,79		II	

Все трансформаторы подходят для установки на ЦТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения мясокомбината.

Таким образом, в результате проведения расчётов и проверок, установлено, что на цеховых ТП-1 и ТП-2 устанавливаются по два силовых трансформатора марки ТМГ-1000/10 У1, а на цеховой ТП-3 – два силовых трансформатора марки ТМГ-1600/10 У1.

Таким образом, вся нагрузка на территории предприятия будет распределена относительно равномерно.

Выводы по разделу.

В результате проведения выбора и проверок силовых трансформаторов для установки в системе электроснабжения мясокомбината установлено

следующее:

- питание проектируемой системы электроснабжения мясокомбината, целесообразно осуществить от главной понизительной подстанции (ГПП) с номинальными классами напряжения 110/10 кВ;
- для питания проектируемой внешней системы электроснабжения мясокомбината, «на ГПП-110/10 кВ объекта проектирования целесообразно установить два силовых трансформатора номинальной мощностью 6300 кВА каждый» [7] (марки ТМН-6300/110);
- в системе внутреннего электроснабжения мясокомбината, для питания нагрузки цехов и участков предприятия, предусмотрены три двухтрансформаторные подстанции ТП-10/0,4 кВ. Установлено, что на цеховых ТП-1 и ТП-2 устанавливаются по два силовых трансформатора марки ТМГ-1000/10 У1, а на цеховой ТП-3 – два силовых трансформатора марки ТМГ-1600/10 У1.

4 Анализ и выбор схемы для распределения электроэнергии по территории мясокомбината

В результате проведения технического анализа, расчётным путём было установлено, что для проектируемой системы электроснабжения мясокомбината, наиболее рационально подходит высшее напряжение, равное 110 кВ, а для внутренней системы объекта проектирования – напряжение 10 кВ.

Также было установлено, что основным и единственным источником питания во внешней системе электроснабжения проектируемого мясокомбината, является двухтрансформаторная питающая ГПП-110/10 кВ.

На основании полученных результатов, составляется структурная схема ГПП-110/10 кВ внешней системы электроснабжения проектируемого мясокомбината (рисунок 3) [1].

Таким образом, исходя из полученных технических сведений, с учётом структурной схемы, приведённой на рисунке 5, в «работе необходимо провести обоснование и выбрать рациональные схемы электрических соединений системы электроснабжения мясокомбината» [3]:

- схему нормальных электрических соединений РУ-110 кВ питающей ГПП-110/10 кВ;
- схему нормальных электрических соединений РУ-10 кВ питающей ГПП-110/10 кВ;
- схему распределительной сети 10 кВ (схема питания цеховых ТП-10/0,4 кВ от РУ-10 кВ ГПП-110/10 кВ);
- схему трансформаторных цеховых ТП-10/0,4 кВ (схема электрических соединений 10 кВ и 0,4 кВ ЦТП);
- схему присоединения системы собственных нужд на ГПП-110/10 кВ системы электроснабжения мясокомбината.

Поэтапное решение данных вопросов проводится в работе далее на основе анализа литературных источников [4].

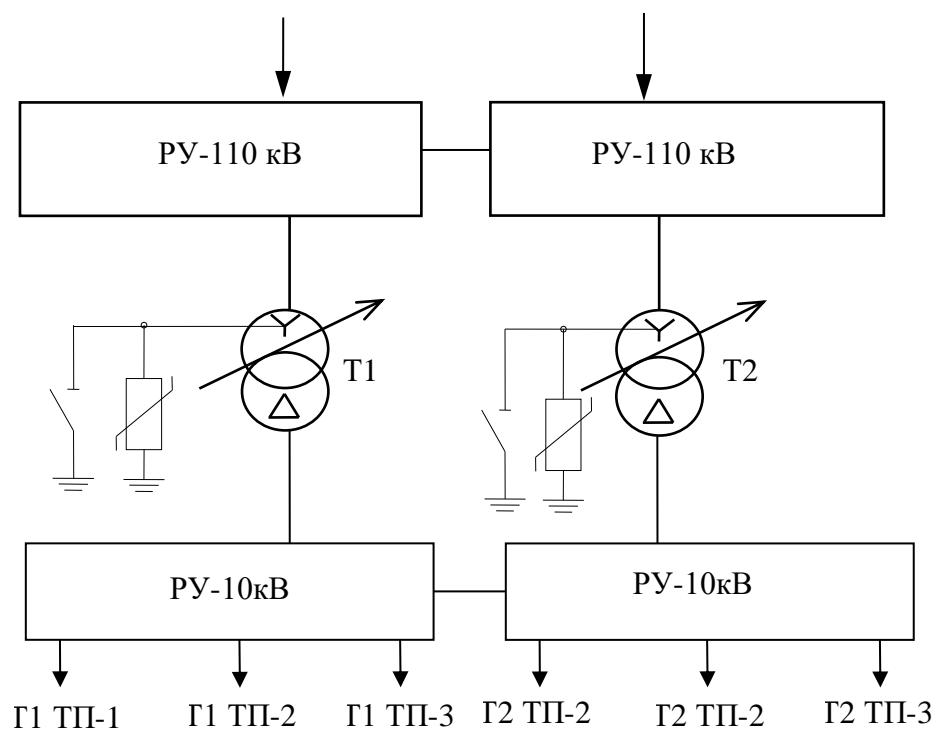


Рисунок 3 – Структурная схема ГПП-110/10 кВ системы электроснабжения мясокомбината

Для применения в ОРУ-110 кВ на питающей ГПП-110/10 кВ, в работе принимается схема «Два блока с выключателями и неавтоматической перемычкой со стороны линий», приведённая на рисунке 3.

Такая схема ВН ГПП-110/10 кВ с резервированием применяется при двух силовых трансформаторах, ГПП-тупиковая.

Данные условия полностью выполнены в схеме ОРУ-110 кВ ГПП-110/10 кВ системы электроснабжения мясокомбината.

Схема обеспечивает резервирование и возможность транзита электроэнергии по одной из питающих линий ВЛ-110 кВ в энергосистеме (в случае необходимости с перспективой дальнейшего расширения и реконструкции схемы).

Выбранное схемное решение для применения на РУ-110 кВ ГПП-110/10 кВ мясокомбината представлено на рисунке 4.

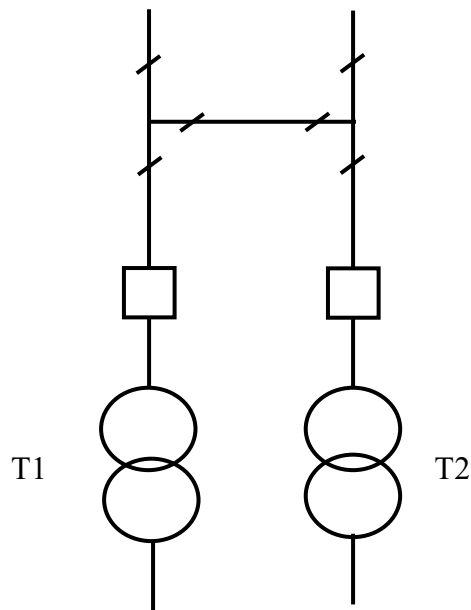


Рисунок 4 – Выбранное схемное решение для РУ-110 кВ ГПП-110/10 кВ мясокомбината

Для применения в РУ-10 кВ питающей ГПП, принимается наиболее рациональная схема «Два блока с выключателями и неавтоматической перемычкой со стороны линий» [4,20].

Такая схема НН ГПП с выполняется с резервированием при двух силовых трансформаторах, в РУ-10 кВ не более 20 присоединений. Данные условия выполнены в схеме электрических соединений РУ-10 кВ ГПП-110/10 кВ объекта проектирования. Выбранное схемное решение для применения на РУ-110 кВ ГПП-110/10 кВ мясокомбината представлено на рисунке 5.

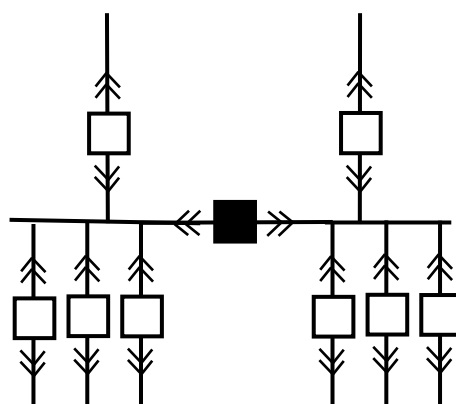


Рисунок 5 – Выбранное схемное решение для РУ-10 кВ ГПП-110/10 кВ мясокомбината

Для применения в распределительной сети 10 кВ, принимается наиболее рациональная схема «Радиальная схема с резервированием на секции шин источника питания (РУ-10 кВ ГПП)» [20].

Такая схема распределительной сети с резервированием при двух силовых трансформаторах, принимается для питания потребителей 1 и 2 категорий надёжности, что характерно объекту проектирования.

Данная схема наиболее проста в исполнении и обладает наиболее высокой надёжностью, простотой монтажа, отстройки уставок РЗА и подходит для питания ответственных потребителей.

Исходя из результатов проведённого сравнительного анализа, для применения на всех двухтрансформаторных цеховых ТП-10/0,4 кВ, питающих потребители 1 и 2 категории надёжности, принимается «Радиальная схема с резервированием на секции шин РУ-10 кВ и РУ-0,4 кВ».

Также в работе проводится выбор схемы присоединения системы собственных нужд на ГПП-110/10 кВ проектируемой системы электроснабжения мясокомбината.

Исходя из расчётной нагрузки системы «собственных нужд, к установке на ГПП системы внешнего электроснабжения объекта, принимаются два двухобмоточных трехфазных трансформатора внутренней установки типа ТМ-25/10У1, работающих отдельно, каждый на свою секцию шин, подключенных к вводным выключателям в РУ-10 кВ ГПП» [13].

На стороне НН предусматривается отдельная работа ТСН, каждого на свою секцию, с АВР на секционной связи [20].

Схема подключения ТСН главной понизительной подстанции переменного напряжения 110/10 кВ представлена на рисунке 6.

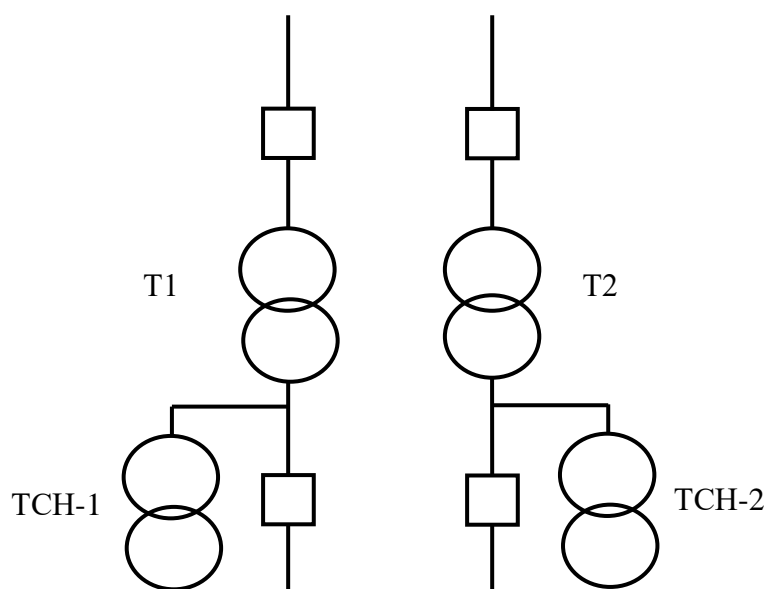


Рисунок 6 – Схема подключения ТСН главной понизительной подстанции переменного напряжения 110/10 кВ

Таким образом, установлено, что все выбранные в работе схемы электрических соединений проектируемой системы электроснабжения мясокомбината, отвечают требованиям нормативных документов, поэтому могут быть приняты к использованию на объекте проектирования.

Все принятые в работе схемные решения показаны в графической части работы.

Выводы по разделу.

Исходя из результатов проведённого сравнительного анализа, проведено аргументированное обоснование и выбраны рациональные схемы электрических соединений системы электроснабжения мясокомбината:

- для применения в РУ-110 кВ питающей ГПП, принимается наиболее рациональная схема «Два блока с выключателями и неавтоматической перемычкой со стороны линий»;
- для применения в РУ-10 кВ питающей ГПП, принимается наиболее рациональная схема «Одна секционированная система шин»;

- для применения в распределительной сети 10 кВ, принимается наиболее рациональная схема «Радиальная схема с резервированием на секции шин источника питания (РУ-10 кВ ГПП)»;
- для применения на всех двухтрансформаторных ЦТП-10/0,4 кВ, питающих потребители 1 и 2 категории надёжности внутренней СЭС, принимается «Радиальная схема с резервированием на секции шин РУ-10 кВ и РУ-0,4 кВ»;
- для схемы присоединения системы «собственных нужд на ГПП-110/10 кВ проектируемой системы электроснабжения мясокомбината, принимаются два двухобмоточных трехфазных трансформатора внутренней установки типа ТМ-25/10У1, работающих отдельно, каждый на свою секцию шин, подключенных к вводным выключателям в РУ-10 кВ ГПП» [4]. На стороне НН предусматривается раздельная работа ТСН, каждого на свою секцию, с АВР на секционной связи.

Таким образом, на основе проведения анализа литературных источников [8],[12], установлено, что все выбранные в работе схемные решения являются наиболее рациональными для их практического внедрения в системе электроснабжения мясокомбината.

5 Расчёт токов коротких замыканий

Далее в работе проводится расчёт значения максимального тока трёхфазного короткого замыкания на сборных шинах ГПП-110/10 кВ проектируемой внешней системы электроснабжения мясокомбината, по которому будут проверены на термическую и электродинамическую стойкость электрические аппараты и шинные конструкции, выбранные для установки в соответствующих распределительных устройствах ГПП и цеховых ТП.

Кроме того, по минимальным значениям тока КЗ на шинах всех РУ проектируемой внешней системы электроснабжения мясокомбината, проверяются на условие надёжности уставки релейной защиты и автоматики на надёжность срабатывания.

Для расчета максимальных токов КЗ на шинах проектируемой внешней системы электроснабжения мясокомбината в работе составляется схема замещения, в которой в точке К1 определяется значение тока максимального КЗ в сети 110 кВ, а в точке К2 – в сети 10 кВ (рисунок 7) [14].

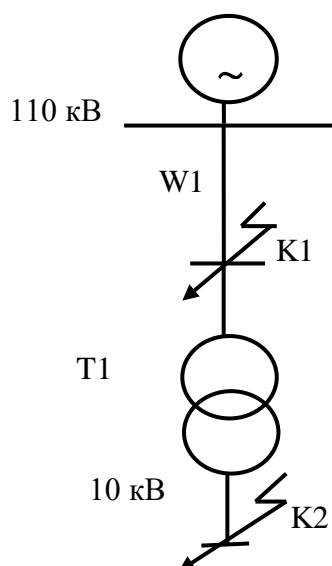


Рисунок 7 – Расчетная схема для расчета токов КЗ на шинах 110 кВ и 10 кВ внешней СЭС мясокомбината

Таким образом, все остальные токи КЗ, по сравнению с максимальными токами КЗ в точках К1 и К2, в СЭС мясокомбината, будут меньшего значения.

Для составления схемы замещения, каждый элемент замещается эквивалентным сопротивлением.

Как правило, в сети напряжением выше 1 кВ решающее значение имеют индуктивные сопротивления элементов.

Значениями активных сопротивлений при расчёте токов КЗ в таком случае можно пренебречь [17].

Составляется исходная схема замещения по расчётной схеме электрической сети на шинах проектируемой внешней системы электроснабжения мясокомбината (рисунок 8).

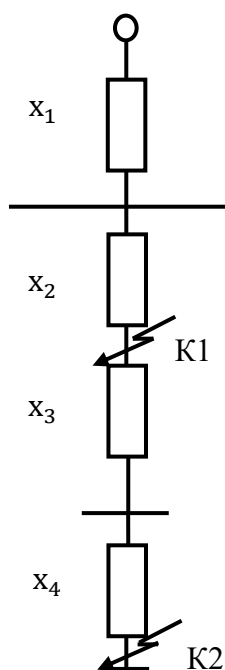


Рисунок 8 – Исходная полная схема замещения электрической сети для расчетов токов КЗ на шинах 110 кВ и 10 кВ внешней СЭС мясокомбината

В исходной схеме для расчёта токов КЗ необходимо учесть все основные элементы, которые влияют на результаты расчёта своими индуктивными сопротивлениями, которые необходимо учитывать в данных схемах в первую очередь [12].

«После составления схемы замещения, далее в работе принимаются базисные условия при расчёте в относительных единицах при последующем приведении к принятым базисным условиям в именованных единицах» [7].

«Базисная мощность также для удобства принимается равной номинальной полной мощности» [18] короткого замыкания на шинах питающей подстанции энергосистемы (по данным энергосистемы):
 $S_{\sigma} = 400 \text{ МВА}$.

«Величина базисного напряжения на ГПП-110/10 кВ системы внешнего электроснабжения мясокомбината» [16]:

$$U_{\sigma} = 1,05 \cdot U_{ном}, \text{кВ.} \quad (16)$$

«Для напряжений на ГПП-110/10 кВ» [16]:

$$U_{\sigma,1} = 1,05 \cdot 110 = 115 \text{ кВ.}$$

$$U_{\sigma,2} = 1,05 \cdot 10 = 10,5 \text{ кВ.}$$

«Базисный ток на сторонах ВН и НН схемы» [8]:

$$I_B = \frac{S_{\sigma}}{\sqrt{3} \cdot U_B}. \quad (17)$$

«Базисный ток на стороне ВН (110 кВ) схемы (численное значение)» [16]:

$$I_{B,ВН} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 115} \approx 2 \text{ кА.}$$

«Базисный ток на стороне ВН (10 кВ) схемы (численное значение)» [16]:

$$I_{Б.НН} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 22 \text{ кА.}$$

«Далее в работе поочередно определяется значение сопротивлений схемы замещения» [16].

«Индуктивное сопротивление энергосистемы при приведении к базисным условиям» [17]:

$$X_1 = X_c \cdot \frac{S_{\bar{b}}}{S_{\bar{bc}}}. \quad (18)$$

«По условию (18)» [16]:

$$X_1 = 1,6 \cdot \frac{400}{400} = 1,6 \text{ Ом.}$$

«Сопротивление питающей воздушной линии 110 кВ при приведении к базисным условиям [17]:

$$X_2 = X_0 \cdot L \cdot \frac{S_{\bar{b}}}{U_{cp.cm}^2}, \quad (19)$$

«где X_0 – удельное индуктивное сопротивление провода, Ом/км» [17];

« L - суммарная длина ВЛ, км» [17].

«По условию (19)» [16]:

$$X_2 = 0,4 \cdot 7,5 \cdot \frac{400}{115^2} \approx 0,09 \text{ Ом.}$$

«Сопротивление обмотки ВН трансформатора ГПП-110/10 кВ» [17]:

$$X_3 = \frac{0,125 \cdot U_{квн\%} \cdot S_{\bar{o}}}{100 \cdot S_{н.т.}}. \quad (20)$$

«По условию (20)» [16]:

$$X_3 = \frac{0,125 \cdot 10,5 \cdot 400}{100 \cdot 6,3} \approx 0,83 \text{ Ом.}$$

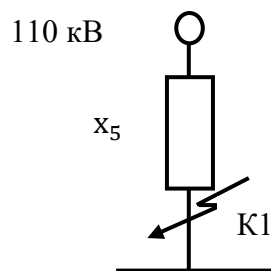
«Сопротивление обмотки НН трансформатора ГПП-110/10 кВ» [17]:

$$X_4 = \frac{1,75 \cdot U_{квн\%} \cdot S_{\bar{o}}}{100 \cdot S_{н.т.}}. \quad (21)$$

«По условию (21)» [16]:

$$X_4 = \frac{1,75 \cdot 10,5 \cdot 400}{100 \cdot 6,3} \approx 11,67 \text{ Ом.}$$

«Схема замещения для точки К1, представлена на рисунке 9» [16].



«Рисунок 9 – Схема замещения, преобразованная для точки К1» [16]

«Результирующее сопротивление до расчётной точки К1» [17]:

$$X_5 = X_1 + X_2. \quad (22)$$

«По условию (22)» [16]:

$$X_5 = 1,6 + 0,09 = 1,69 \text{ Ом.}$$

«Начальное действующее значение периодической составляющей тока трёхфазного короткого замыкания в расчётной точке К1» [17]:

$$I_{\text{пол}} = \frac{E}{X_8} \cdot I_{\sigma}, \quad (23)$$

где « E_c - сверхпереходная ЭДС энергосистемы, $E_c=1$ » [17].

«По условию (23)» [16]:

$$I_{\text{пол}} = \frac{1}{1,69} \cdot 2 = 1,18 \text{ кА.}$$

«Схема замещения для расчета тока трёхфазного короткого замыкания в расчётной точке К2 представлена на рисунке 10» [16].

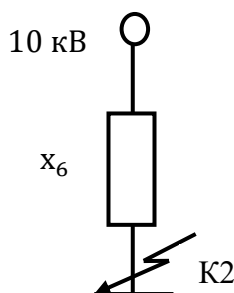


Рисунок 10 – Схема замещения для расчетов в точке К2

«Расчёт для точки К2 аналогичен расчёту для точки К1 (с учётом большего числа сопротивлений, входящих в цепь К3)» [17]:

$$X_6 = X_3 + X_4 + X_5. \quad (24)$$

«По условию (24)» [16]:

$$X_6 = 1,69 + 0,83 + 11,67 = 14,19 \text{ Ом.}$$

«Начальное действующее значение периодической составляющей тока трёхфазного короткого замыкания в точке К2» [17]:

$$I_{\text{по2}} = \frac{E}{X_6} \cdot I_6. \quad (25)$$

По условию (25):

$$I_{\text{по2}} = \frac{1}{14,19} \cdot 22 = 1,55 \text{ кА.}$$

Далее в работе, с учётом полученных значений максимальных расчётных токов КЗ в точках К1 и К2, необходимо провести расчёт ударного тока в данных точках. Это необходимо сделать для проверки электрических аппаратов на термическую стойкость (осуществляется в работе далее).

Значение ударного тока в расчётной точке К1 [17]:

$$i_{\text{уд1}} = \sqrt{2} k_{\text{уд}} \cdot I_{\text{по1}}. \quad (26)$$

По условию (26):

$$i_{\text{уд1}} = \sqrt{2} \cdot 1,7 \cdot 1,18 = 2,84 \text{ кА.}$$

Для К2:

$$i_{уд2} = \sqrt{2}k_{уд} \cdot I_{по2}. \quad (27)$$

По условию (27):

$$i_{уд2} = \sqrt{2} \cdot 1,4 \cdot 1,55 = 3,07 \text{ кА}.$$

Двухфазные расчётные токи КЗ считаются минимальными несимметричными токами короткого замыкания, по которым проверяется надёжность выбранных уставок релейной защиты, автоматики, сигнализации и управления.

Значения двухфазного тока короткого замыкания может быть рассчитаны, исходя из известного соотношения [17]:

$$I_{no(\min)} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_{no}. \quad (28)$$

«В расчётной точке К1 на ГПП-110/10 кВ» [16]:

$$I_{no(\min)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 1,18 = 1,02 \text{ кА}.$$

«В расчётной точке К2 на ГПП-110/10 кВ» [16]:

$$I_{no(\min)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 1,55 = 1,34 \text{ кА}.$$

«Результаты расчётов токов КЗ в системе электроснабжения мясокомбината приведены в таблице 6» [16].

Таблица 6 – Результаты расчётов токов КЗ

Расчётная точка КЗ	$I_k^{(3)}, \text{кА}$	$I_k^{(2)}, \text{кА}$	$i_{уд}, \text{кА}$
К1 (выводы 110 кВ)	1,18	1,02	2,84
К2 (выводы 10 кВ)	1,55	1,34	3,07

«На основе полученных результатов расчётов токов КЗ в расчётных точках системы внешнего электроснабжения мясокомбината, далее в работе проводится выбор и проверка аппаратов напряжением 110 кВ и 10 кВ для их установки, соответственно, в РУ-110 кВ и РУ-10 кВ ГПП-110/10 кВ» [5] СЭС, а также проводится расчёт уставок РЗиА трансформаторов ГПП.

Выводы по разделу.

В результате выполнения работы, осуществлён расчёт следующих токов короткого замыкания в проектируемой системе электроснабжения мясокомбината:

- максимальных токов трёхфазного КЗ на выводах трансформатора ГПП-110/10 кВ в максимальном режиме работы;
- минимальных токов двухфазного КЗ на выводах трансформатора ГПП-110/10 кВ в максимальном режиме работы;
- ударных токов трёхфазного КЗ на выводах трансформатора ГПП-110/10 кВ в максимальном режиме работы.

Полученные результаты используются в работе при выборе и проверке электрических аппаратов на ГПП предприятия.

6 Выбор электрических аппаратов и проводников на ГПП предприятия

6.1 Выбор и проверка проводников на ГПП мясокомбината

Все проводники в системе внешнего электроснабжения объекта – класса напряжения выше 1 кВ. Поэтому методика выбора для них будет применена также одинаковая.

Известно, что «выбор сечений проводников напряжением выше 1 кВ (питающей воздушной линии напряжением 110 кВ и распределительных кабельных линий 10 кВ)» [5] СЭС системы внешнего электроснабжения мясокомбината, осуществляется по известному условию экономической плотности тока [11]:

$$S_{\text{э}} = \frac{I_{\text{р.}}}{j_{\text{ЭК}}}, \quad (29)$$

«где $I_{\text{н}}$ – расчетное значение тока линии, А» [16];

$j_{\text{ЭК}}$ – «экономическая плотность тока, А/мм²» [10].

«При этом» [19]:

$$I_{\text{н}} = \frac{P_{\text{р}}}{\sqrt{3} \cdot n \cdot U_{\text{НОМ}} \cdot \cos \varphi} = \frac{S_{\text{р}}}{\sqrt{3} \cdot n \cdot U_{\text{НОМ}}}, \quad (30)$$

«где $S_{\text{р}}$ – расчётная полная нагрузка линии, кВА» [12];

n – число рабочих цепей линии, шт.

Расчетное значение рабочего тока послеаварийного режима определяется с учётом обеспечения резервного питания от второго источника по второй цепи линии 110 кВ, и обязательном отключении нагрузки потребителей III категории надёжности в СЭС мясокомбината [19]:

$$I_a = 1,4 \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot n \cdot U_{ном.}} = 1,4 \cdot I_n. \quad (31)$$

После выбора проводников воздушных и кабельных линий СЭС системы внешнего электроснабжения мясокомбината, необходимо провести их проверку на работоспособность в нормальном и послеаварийном режимах работы.

«Проверка проводников воздушных и кабельных линий СЭС объекта проектирования в нормальном режиме работы» [11]:

$$I_{доп} \geq I_p, \quad (32)$$

где $I_{доп}$ – «предельно – допустимое справочное значение тока выбранного проводника линии, А» [10].

Проверка проводников воздушных и кабельных линий СЭС системы внешнего электроснабжения мясокомбината в послеаварийном режиме работы [11]:

$$I_{доп} \geq I_{p.max}, \quad (33)$$

где $I_{p.max}$ – максимальный ток послеаварийного режима работы линии с учётом условий резервирования в схеме, А.

Кроме того, «по механической прочности проводники воздушных линий должны быть не меньшего сечения чем стандартное минимально-допустимое сечение для условий местности по гололёду и ветру, с учётом типа опор и количества цепей линии, а также» [5] коронирующего разряда (для ВЛ-110 кВ).

Выполнение данного условия проверяется по следующему соотношению:

$$S_{ст} \geq S_{мин}, мм^2. \quad (34)$$

На основе приведённых расчётных формул согласно принятой методики выбора и проверки проводов воздушных линий электропередач, проводится выбор и проверка сечения провода питающей воздушной линии ВЛ-110 кВ ГПП-110/10 кВ СЭС системы внешнего электроснабжения мясокомбината.

Питание ГПП-110/10 кВ СЭС системы внешнего электроснабжения мясокомбината от источника питания, осуществляется двухцепной воздушной линией электропередачи с применением провода марки АС.

В работе, для большей надежности функционирования воздушных линий, с учетом климатических условий, для установки на новой питающей ВЛ-110 кВ, выбирается провод марки АС (стандартный сталеалюминевый проводник воздушных линий) [7].

Расчётный ток нормального режима ВЛ-110 кВ системы внешнего электроснабжения мясокомбината, с учётом того, что на каждую из двух цепей линии приходится половина расчётной нагрузки объекта:

$$I_p = \frac{6305,39}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 110} \approx 16,5 \text{ A.}$$

Ток послеаварийного режима для питающей ВЛ-110 кВ ГПП-110/10 кВ системы внешнего электроснабжения мясокомбината, с учётом обеспечения резервного питания от второго источника по второй цепи линии 110 кВ, и обязательном отключении нагрузки потребителей III категории надёжности в СЭС мясокомбината [11]:

$$I_{p.\max} = 1,4 \cdot 16,5 = 23,17 \text{ A.}$$

«Экономически выгодное сечение провода питающей ВЛ-110 кВ проектируемой системы внешнего электроснабжения мясокомбината» [16]:

$$F_9 = \frac{16,5}{1,1} = 15 \text{ мм}^2.$$

Согласно результатам расчёта, ближайшее стандартное сечение воздушной линии 110 кВ – 16 мм². Однако, данный результат нельзя применять без проверки сечения линии по условиям механической прочности и условий коронирующего разряда («короны»).

Условие проверки по минимальному сечению проводника, с учётом механических и климатических условий:

$$F_{ст} \geq F_{мин}, \text{ мм}^2. \quad (35)$$

Условие (35) соблюдено:

$$70 \text{ мм}^2 = 70 \text{ мм}^2.$$

«Исходя из результатов расчёта, в работе предварительно принимается сечение провода $F_{ст} = 70 \text{ мм}^2$ марки АС-70/11 с $I_{дон} = 265 \text{ А}$ » [4].

«Проверка по допустимому перегреву в нормальном режиме выполняется» [16]:

$$265 \text{ А} \geq 16,5 \text{ А}.$$

«Проверка по допустимому перегреву в послеаварийном режиме также выполняется» [16]:

$$265 \text{ А} \geq 23,17 \text{ А}.$$

«Результаты выбора кабельных линий 10 кВ внешней системы электроснабжения мясокомбината с приведением результатов выбора и проверки, представлены в форме таблицы 7» [16].

Таблица 7 – Результаты выбора кабельных линий 10 кВ внешней системы электроснабжения мясокомбината

Линия	Длина КЛ, м	Расчётные значения			Результаты выбора	
		$I_{p\text{ норм}}, \text{ А}$	$F_{\Sigma}, \text{ мм}^2$	$F_{\text{ст.}}, \text{ мм}^2$	Марка КЛ	$I_{\text{дл}}, \text{ А}$
ГПП-ТП-1	170	35,12	21,9	25,0	АСБ-10(3×25)	94
ГПП-ТП-2	180	34,63	21,6	25,0	АСБ-10(3×25)	94
ГПП-ТП-3	150	68,6	42,8	50,0	АСБ-10(3×50)	132
ГПП-АД-10 кВ (насосная)	120	53,4	33,3	35,0	АСБ-10(3×35)	112
ГПП-АД-10 кВ (компрессорная)	140	38,99	24,4	25,0	АСБ-10(3×25)	94

Также к проводникам в СЭС объекта относятся ошиновка и шинные конструкции распределительных устройств. Выбор ошиновки для применения в ОРУ-110 кВ и КРУ-10 кВ ГПП СЭС мясокомбината осуществляется по значению максимального рабочего тока.

При этом проверка выбранной ошиновки проводится по току КЗ в зависимости от паспортной характеристики данных шин.

«Результаты выбора и проверки ошиновки в РУ ГПП мясокомбината представлены в таблице 8» [11].

Таблица 8 – Результаты выбора и проверки ошиновки для применения в ОРУ-110 кВ и ЗРУ-10 кВ ГПП СЭС мясокомбината

Наименование РУ ГПП	Тип/марка ошиновки	Длительный режим		Проверка
		$I_n \geq I_{p, \text{max}}, \text{ А}$	Сечение $q_n, \text{ мм}^2$	$q_n \geq q_{\text{min}}, \text{ мм}^2$
ОРУ – 110 кВ	Гибкая/АС – 70/11	$265 \geq 23,17$	70	$70 = 70$
КРУ – 10 кВ	Жёсткая/ШАТ-60×10	$860 \geq 509,8$	600	$600 \geq 200$

Все выбранные проводники 110 кВ и 10 кВ для применения в СЭС мясокомбината, удовлетворяют условиям выбора и нормативных требуемых проверок [18].

6.2 Выбор и проверка электрических аппаратов на ГПП мясокомбината

Как было указано ранее, одним из важнейших мероприятий по проектированию системы электроснабжения мясокомбината, является выбор нового оборудования для установки в распределительных устройствах высокого напряжения на ГПП-110/10 кВ.

РУ-10 кВ ЦТП-10/0,4 кВ выполняется по упрощённой схеме и коммутируется с соответствующих ячеек РУ-10 кВ ГПП-110/10 кВ. Такая схема удобная, надёжная и практичная.

Все выбранные аппараты проверяются на соответствие условиям цепи в максимальном режиме по значениям максимального рабочего тока и тока трёхфазного КЗ.

Выбору и проверке в работе подлежат такие аппараты системы электроснабжения:

- высоковольтные выключатели – устанавливаются во всех распределительных устройствах питающей ГПП-110/10 кВ (110 кВ, 10 кВ);
- разъединители – применяются только в ОРУ-110 кВ на ГПП-110/10 кВ (в РУ-10 кВ заменяются втычными контактами ячеек типа КРУ);
- ограничители перенапряжения устанавливаются во всех РУ ГПП-110/10 кВ;
- измерительные трансформаторы тока и напряжения – применяются в ОРУ-110 кВ и КРУ-10 кВ ГПП по мере необходимости (зависит от схемы и мощности вторичных цепей).

Далее проводится выбор и проверка электрических аппаратов для установки в РУ ГПП-110/10 кВ СЭС мясокомбината.

Основными аппаратами защиты и коммутации в СЭС мясокомбината являются выключатели высокого напряжения. Известно, что выключатели высокого напряжения – это основные аппараты для защиты и коммутации

электрической сети и единственные аппараты на подстанции, которыми можно отключать сеть под нагрузкой, а также они отключают сеть при возникновении ненормальных режимов (в частности, токов КЗ).

Поэтому к выключателям предъявляются повышенные требования по коммутационной способности, а также по стойкости к сквозным токам КЗ и ударным токам.

Известно, что выбор выключателей высокого напряжения производится, исходя из следующих условий двух основных условий [18]:

– по номинальному напряжению:

$$U_{уст} \leq U_n. \quad (36)$$

где $U_{уст}$, $U_{ном}$ – соответственно напряжения установки и номинальное напряжение выключателя (параметр завода-изготовителя);

– по максимальному рабочему току:

$$I_{раб.макс} \leq I_n. \quad (37)$$

где $I_{раб.макс}$, I_n – соответственно максимальный рабочий ток ПАВ режима электроустановки и номинальное значение тока выключателя (параметр завода-изготовителя).

Проверка выключателя предполагает выполнение следующих обязательных условий [18]:

– «проверка выключателя на симметричный ток отключения» [18]:

$$I_{пт} \leq I_{откн}. \quad (38)$$

где « $I_{пт}$ – значение периодической составляющей тока короткого замыкания в момент начала расхождения дугогасительных контактов» [18];

« $I_{отк.н}$ – номинальный ток отключения выбранного выключателя, кА (параметр завода-изготовителя)» [18];

– «проверка выключателя на отключение асимметричного тока КЗ» [7]:

$$(\sqrt{2} \cdot I_{пт} + i_{ат}) \leq \sqrt{2} \cdot I_{отк.н} (1 + \beta_n), \quad (39)$$

где « $i_{ат}$ – значение аperiodической составляющей тока короткого замыкания в момент расхождения контактов» [7];

« β_n – номинальное значение относительного содержания аperiodической составляющей в отключаемом токе КЗ» [7];

« τ – наименьшее время от начала короткого замыкания до момента расхождения дугогасительных контактов, определяется так» [7]:

$$t = t_{з.мин} + t_{с.в}, \quad (40)$$

где « $t_{з.мин}$ – минимальное время действия релейной защиты, с» [7];

« $t_{с.в}$ – собственное время отключения выключателя, с» [7];

– «на электродинамическую устойчивость выбранный выключатель проверяется по значению предельного сквозного тока КЗ» [18]:

$$i_y \leq i_{пр.с}, \quad (41)$$

где « $i_{пр.с}$ – действующее значение предельного сквозного тока КЗ» [18];

« i_y – ударный ток короткого замыкания в цепи выключателя» [18];

– «проверка выключателя на термическую стойкость по значению теплового импульса» [18]:

$$B_k \leq I_T^2 t_T, \quad (42)$$

где « B_k – тепловой импульс по расчёту, $A^2 \cdot c$ » [18];

« I_T – предельный ток термической устойчивости, $A^2 \cdot c$ » [18];

« t_T – длительность протекания тока термической устойчивости, c » [18].

«При этом тепловой импульс» [18] с учётом токов КЗ и отключения цепи:

$$B_k = I_k^2 (t_{отк} + T_a). \quad (43)$$

Исходя из расположения в схеме ГПП-110/10 кВ СЭС объекта проектирования, высоковольтные выключатели напряжением 110 кВ и 10 кВ подразделяются на следующие типы:

- высоковольтные выключатели ввода (вводные высоковольтные выключатели) – служат для приёма электроэнергии от энергосистемы с последующей её передачей на два силовых трансформатора подстанции (сеть 110 кВ), а также приёма и передачи электроэнергии от силового трансформатора на напряжении 10 кВ, в распределительную сеть РУ-10 кВ (сеть 10 кВ);
- высоковольтный выключатель секционного соединения (секционный выключатель) – необходим для обеспечения резервирования в схеме РУ-10 кВ на ГПП-110/10 кВ, автоматически включая питание оборудования от второй системы сборных шин 10 кВ;
- высоковольтные выключатели отходящих линий (линейные выключатели) – необходимы для обеспечения защиты и коммутации отходящих линий 10 кВ для питания ЦТП-10/0,4 кВ.

Исходя из этого, необходимо учесть расположение выключателей в схеме, так как параметры сети в различных узлах ГПП-110/10 кВ СЭС объекта проектирования будут также различными.

Для защиты и коммутации оборудования подстанции, на ГПП-110/10 кВ, с учётом рассчитанных параметров электрической сети 110 кВ, проводится выбор выключателя высокого напряжения для установки на ГПП-110/10 кВ в

РУ-110 кВ. Предварительно выбирается выключатель бакового типа с элегазовой изоляцией марки 145PM40-20 [19] и производится его проверка по условиям (34)-(40).

«По условию (37)» [16]:

$$U_{ном} = 145 \text{ кВ} \geq U_{сети} = 110 \text{ кВ}.$$

«По условию (38)» [16]:

$$I_{ном} = 2000 \text{ А} > I_{расч} = 23,17 \text{ А}.$$

«По условию (39)» [16]:

$$I_{откл} = 40 \text{ кА} > I_{к1} = 1,18 \text{ кА}.$$

«По условию (40)» [16]:

$$\begin{aligned} \sqrt{2} \cdot I_k (1 + \beta_{ном} / 100) &= \sqrt{2} \cdot 20(1 + 0,25) = \\ &= 35 > \sqrt{2} \cdot 2,84 \cdot (1 + e^{-\frac{-(0,05 + 0,1)}{0,007}}) = 14,8 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}. \end{aligned}$$

«По условию (41)» [16]:

$$i_{пр.скв} = 40 \text{ кА} > i_{ук1} = 2,84 \text{ кА}.$$

«По условию (42)» [16]:

$$I_t^2 t = 40^2 \cdot 3 = 4800 \text{ кА}^2 \text{с} > I_k^2 (t_{откл} + T_a) = 1,18^2 \cdot (5 + 0,5 + 0,3) = 7,71 \text{ кА}^2 \text{с}.$$

Таким образом, окончательно принимается выключатель бакового типа с элегазовой изоляцией марки 145PM40-20 для установки в РУ-110 кВ ГПП-110/10 кВ системы внешнего электроснабжения мясокомбината.

Выбор выключателей высокого напряжения для установки в РУ-10 кВ осуществлён аналогично выбору выключателей напряжением 110 кВ по условиям (33)-(39). Исходя из расположения в схеме ГПП-110/10 кВ системы внешнего электроснабжения мясокомбината, высоковольтные выключатели напряжением 10 кВ подразделяются на следующие типы (таблица 9):

- выключатели ввода (вводные выключатели);
- выключатели секционного соединения (секционные выключатели);
- выключатели отходящих линий (линейные выключатели).

С учётом того, что для всех перечисленных типов выключателей технические условия и параметры электрической сети будут различными, что сказывается в различиях их рабочих токов, следовательно, в работе проводится выбор каждого из указанных типов выключателей отдельно.

Таблица 9 – Результаты выбора выключателей высокого напряжения для установки в РУ-10 кВ ГПП-110/10 кВ

Наименование аппарата	Условие выбора	Паспортные данные	Расчетные данные
Выключатель вакуумный ВВ/TEL-10-20-630-У2-48 (вводной).	$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{сети}}$	$U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ}$	$U_{\text{сети}} = 10 \text{ кВ}$
	$I_{\text{ном}} \geq I_{\text{р.}}$	$I_{\text{ном}} = 630 \text{ А}$	$I_{\text{р.}} = 509,8 \text{ А}$
	$I_{\text{откл.ном}} \geq I_{\text{п.о.}}^{(3)}$	$I_{\text{откл.ном}} = 20 \text{ кА}$	$I_{\text{п.о.}}^{(3)} = 1,55 \text{ кА}$
	$i_{\text{а.ном}} \geq i_{\text{ат}}^{(3)}$	$i_{\text{а.ном}} = 20 \text{ кА}$	$i_{\text{ат}}^{(3)} = 1,55 \text{ кА}$
	$i_{\text{дин}} \geq i_{\text{уд}}$	$i_{\text{дин}} = 80 \text{ кА}$	$i_{\text{уд}} = 3,07 \text{ кА}$
	$I_{\text{т}}^2 \cdot t_{\text{т}} \geq B_{\text{к}}$	$I_{\text{т}}^2 \cdot t_{\text{т}} = 120 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_{\text{к}} = 3,07^2 \cdot 3 = 28,3 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$
Выключатель вакуумный ВВ/TEL-10-20-630-У2-48 (секционный).	$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{сети}}$	$U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ}$	$U_{\text{сети}} = 10 \text{ кВ}$
	$I_{\text{ном}} \geq I_{\text{р.}}$	$I_{\text{ном}} = 630 \text{ А}$	$I_{\text{р.}} = 364,2 \text{ А}$
	$I_{\text{откл.ном}} \geq I_{\text{п.о.}}^{(3)}$	$I_{\text{откл.ном}} = 20 \text{ кА}$	$I_{\text{п.о.}}^{(3)} = 1,55 \text{ кА}$
	$i_{\text{а.ном}} \geq i_{\text{ат}}^{(3)}$	$i_{\text{а.ном}} = 20 \text{ кА}$	$i_{\text{ат}}^{(3)} = 1,55 \text{ кА}$
	$i_{\text{дин}} \geq i_{\text{уд}}$	$i_{\text{дин}} = 80 \text{ кА}$	$i_{\text{уд}} = 3,07 \text{ кА}$
	$I_{\text{т}}^2 \cdot t_{\text{т}} \geq B_{\text{к}}$	$I_{\text{т}}^2 \cdot t_{\text{т}} = 120 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_{\text{к}} = 3,07^2 \cdot 3 = 28,3 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$
Выключатель вакуумный ВВ/TEL-10-20-630-У2-48 (линейные).	$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{сети}}$	$U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ}$	$U_{\text{сети}} = 10 \text{ кВ}$
	$I_{\text{ном}} \geq I_{\text{р.}}$	$I_{\text{ном}} = 630 \text{ А}$	$I_{\text{р.}} = 129,5 \text{ А}$
	$I_{\text{откл.ном}} \geq I_{\text{п.о.}}^{(3)}$	$I_{\text{откл.ном}} = 20 \text{ кА}$	$I_{\text{п.о.}}^{(3)} = 1,55 \text{ кА}$
	$i_{\text{а.ном}} \geq i_{\text{ат}}^{(3)}$	$i_{\text{а.ном}} = 20 \text{ кА}$	$i_{\text{ат}}^{(3)} = 1,55 \text{ кА}$
	$i_{\text{дин}} \geq i_{\text{уд}}$	$i_{\text{дин}} = 80 \text{ кА}$	$i_{\text{уд}} = 3,07 \text{ кА}$
	$I_{\text{т}}^2 \cdot t_{\text{т}} \geq B_{\text{к}}$	$I_{\text{т}}^2 \cdot t_{\text{т}} = 120 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_{\text{к}} = 3,07^2 \cdot 3 = 28,3 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

Все выбранные выключатели для установки на вводных, секционном и линейных соединениях в РУ-10 кВ ГПП-110/10 кВ системы внешнего электроснабжения мясокомбината, удовлетворяют условиям выбора и проверок.

Разъединитель – это аппарат для обеспечения видимого разрыва с целью безопасного проведения работ в электроустановках.

В работе разъединители устанавливаются в РУ-110 кВ, которое конструктивно сооружается открытым.

В работе для установки в РУ-110 кВ ГПП-110/10 кВ системы внешнего электроснабжения мясокомбината выбирается разъединитель марки РГ-110/1000У1 (таблица 10).

Таблица 10 – Результаты выбора разъединителей для установки в РУ-110 кВ ГПП-110/10 кВ системы внешнего электроснабжения мясокомбината

Наименование аппарата	Условие выбора	Паспортные данные	Расчетные данные
Разъединитель РГ-110/1000У1	$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{сети}}$	$U_{\text{ном}} = 110 \text{ кВ}$	$U_{\text{сети}} = 110 \text{ кВ}$
	$I_{\text{ном}} \geq I_{\text{р.}}$	$I_{\text{ном}} = 1000 \text{ А}$	$I_{\text{р.}} = 23,17 \text{ А}$
	$i_{\text{дин}} \geq i_{\text{уд}}$	$i_{\text{дин}} = 100 \text{ кА}$	$i_{\text{уд}} = 2,84 \text{ кА}$
	$I_{\text{т}}^2 \cdot t_{\text{т}} \geq B_{\text{к}}$	$I_{\text{т}}^2 \cdot t_{\text{т}} = 100^2 \cdot 3 = 30000 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_{\text{к}} = 2,84^2 \cdot 3 = 24,2 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

Окончательно для установки в РУ-110 кВ ГПП-110/10 кВ системы внешнего электроснабжения мясокомбината выбирается разъединитель марки РГ-110/1000У1.

«Проводится выбор трансформатора тока для установки на стороне напряжением 110 кВ» [18].

«Предварительно выбирается трансформатор тока для установки в ОРУ 110 кВ марки ТВТ-110-У3» [18].

«Результаты сравнительного технического выбора и проверки данного трансформатора тока, представлены в таблице 11» [18].

Таблица 11 – Результаты выбора трансформаторов тока для установки в РУ-110 кВ ГПП-110/10 кВ системы внешнего электроснабжения мясокомбината

Наименование аппарата	Условие выбора	Паспортные данные	Расчетные данные
Трансформатор тока ТВТ-110-У3	$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{сети}}$	$U_{\text{ном}} = 110 \text{ кВ}$	$U_{\text{сети}} = 110 \text{ кВ}$
	$I_{\text{ном}} \geq I_{\text{р.}}$	$I_{\text{ном}} = 300 \text{ А}$	$I_{\text{р.}} = 23,17 \text{ А}$
	$i_{\text{дин}} \geq i_{\text{уд}}$	$i_{\text{дин}} = 120 \text{ кА}$	$i_{\text{уд}} = 2,84 \text{ кА}$
	$I_{\text{т}}^2 \cdot t_{\text{т}} \geq B_{\text{к}}$	$I_{\text{т}}^2 \cdot t_{\text{т}} = 120^2 \cdot 3 = 43200 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_{\text{к}} = 2,84^2 \cdot 3 = 24,2 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

«Производится выбор трансформатора тока для установки на стороне напряжением 10 кВ» [18] (таблица 12).

Таблица 12 – Результаты выбора трансформаторов тока для установки в РУ-10 кВ ГПП-110/10 кВ системы внешнего электроснабжения мясокомбината

Наименование аппарата	Условие выбора	Паспортные данные	Расчетные данные
Трансформатор тока ТЛО-10-У3	$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{сети}}$	$U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ}$	$U_{\text{сети}} = 110 \text{ кВ}$
	$I_{\text{ном}} \geq I_{\text{р.}}$	$I_{\text{ном}} = 1000 \text{ А}$	$I_{\text{р.}} = 23,17 \text{ А}$
	$i_{\text{дин}} \geq i_{\text{уд}}$	$i_{\text{дин}} = 80 \text{ кА}$	$i_{\text{уд}} = 2,84 \text{ кА}$
	$I_{\text{т}}^2 \cdot t_{\text{т}} \geq B_{\text{к}}$	$I_{\text{т}}^2 \cdot t_{\text{т}} = 80^2 \cdot 3 = 19200 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_{\text{к}} = 2,84^2 \cdot 3 = 24,2 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

В работе трансформаторы напряжения устанавливаются в РУ-10 кВ ГПП-110/10 кВ системы внешнего электроснабжения мясокомбината.

«Результаты выбора трансформаторов напряжения для установки в РУ-10 кВ ГПП-110/10 кВ системы внешнего электроснабжения мясокомбината представлены в таблице 13» [16].

Таблица 13 – Результаты выбора трансформаторов напряжения для установки в РУ-10 кВ ГПП-110/10 кВ системы внешнего электроснабжения мясокомбината

Наименование аппарата	Условие выбора	Паспортные данные	Расчетные данные
Трансформатор напряжения НАМИ-10	$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{сети}}$	$U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ}$	$U_{\text{сети}} = 110 \text{ кВ}$
	$I_{\text{ном}} \geq I_{\text{р.}}$	$I_{\text{ном}} = 630 \text{ А}$	$I_{\text{р.}} = 23,17 \text{ А}$
	$i_{\text{дин}} \geq i_{\text{уд}}$	$i_{\text{дин}} = 60 \text{ кА}$	$i_{\text{уд}} = 2,84 \text{ кА}$
	$I_{\text{т}}^2 \cdot t_{\text{т}} \geq B_{\text{к}}$	$I_{\text{т}}^2 \cdot t_{\text{т}} = 60^2 \cdot 3 = 10800 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_{\text{к}} = 2,84^2 \cdot 3 = 24,2 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

Ограничители перенапряжения (далее – ОПН), устанавливаются на места, где ранее были установлены вентильные разрядники (на воздушных линиях –

защита от атмосферных перенапряжений), а также в ячейках современных распределительных устройств напряжением 6(10)-110 кВ с кабельными и шинными вводами (для защиты от внутренних перенапряжений). Известно, что ОПН выбирают по номинальному напряжению сети (таблица 14).

Таблица 14 – Результаты выбора и проверки ОПН

Наименование	Условие	Паспортные данные	Расчетные данные
ОПН-У/TEL-110/84-УХЛ1	$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{сети}}$	$U_{\text{ном}} = 110 \text{ кВ}$	$U_{\text{сети}} = 110 \text{ кВ}$
ОПН-КР/TEL-10/12 УХЛ1	$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{сети}}$	$U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ}$	$U_{\text{сети}} = 10 \text{ кВ}$

В результате проведения расчётного выбора и проверок электрических аппаратов в проектируемой системе электроснабжения мясокомбината, установлено, что всё новое выбранное оборудование распределительных устройств ОРУ-110 кВ и КРУ-10 кВ на ГПП-110/10 кВ СЭС объекта удовлетворяет всем требуемым условиям и может быть принято для установки на объекте.

Выводы по разделу.

В работе проведён детальный практический расчёт и последующее обоснование технических мероприятий и решений по выбору проводников и электрических аппаратов с целью их установки на ГПП системы внешнего электроснабжения мясокомбината. Согласно дальнейшей перспективе по развитию системы электроснабжения объекта проектирования, для питающих ВЛ-110 кВ принята марка сталеалюминиевого провода АС-70/11.

Для питания цеховых ТП-10/0,4 кВ выбраны и проверены сечения всех кабельных линий с использованием марки кабелей современного типа марки АСБ–10. Выбрана и проверена ошиновка для применения в РУ-110 кВ и РУ-10 кВ ГПП СЭС объекта проектирования: для применения в ОРУ-110 кВ, принята гибкая ошиновка, выполненная с применением проводов марки АС-70/11, а в РУ-10 кВ – ошиновка жёсткого типа марки ШАТ-60×10. Осуществлён выбор современных электрических аппаратов ГПП, для их установки в РУ-110 кВ и РУ-10 кВ ГПП-110/10 кВ СЭС мясокомбината.

Заключение

«В результате выполнения работы проведена разработка проекта системы электроснабжения мясокомбината, осуществляемая с целью ввода нового объекта в эксплуатацию в связи с производственной необходимостью» [19].

Приведено описание и «анализ технологического процесса, а также основных и вспомогательных подразделений, проектируемой системы электроснабжения нового мясокомбината, с детальным их анализом и систематизацией по принадлежности к категориям надёжности, а также по» [16] условиям технологического процесса.

Обусловлена актуальность выбора темы, с последующим анализом технических данных нагрузки потребителей. Приведён перечень основных задач, который требуется решить в работе для достижения поставленной цели.

Исходя из выходных технических данных на выполнение работы, с учётом справочных нормативных коэффициентов, проведён расчёт электрической нагрузки системы электроснабжения мясокомбината.

Рассчитаны нагрузки отдельных цехов и потребителей, а также всей системы электроснабжения мясокомбината в целом, исходя из расчётных коэффициентов, установленной мощности нагрузок и режима работы системы электроснабжения объекта проектирования.

В результате проведения выбора и проверок силовых трансформаторов для установки в системе электроснабжения мясокомбината установлено следующее:

- питание проектируемой системы электроснабжения мясокомбината, целесообразно осуществить от главной понизительной подстанции (ГПП) с номинальными классами напряжения 110/10 кВ;
- для питания проектируемой внешней системы электроснабжения мясокомбината, на ГПП-110/10 кВ объекта проектирования

целесообразно установить два силовых трансформатора ТМН-6300/110;

- в системе внутреннего электроснабжения мясокомбината, для питания нагрузки цехов и участков предприятия, предусмотрены три двухтрансформаторные подстанции ТП-10/0,4 кВ. Установлено, что на цеховых ТП-1 и ТП-2 устанавливаются по два силовых трансформатора марки ТМГ-1000/10 У1, а на цеховой ТП-3 – два силовых трансформатора марки ТМГ-1600/10 У1.

Исходя из результатов проведённого сравнительного анализа, проведено аргументированное обоснование и выбраны рациональные схемы электрических соединений системы электроснабжения мясокомбината:

- для применения в РУ-110 кВ питающей ГПП, принимается наиболее рациональная схема «Два блока с выключателями и неавтоматической перемычкой со стороны линий»;
- для применения в РУ-10 кВ питающей ГПП, принимается наиболее рациональная схема «Одна секционированная система шин»;
- для применения в распределительной сети 10 кВ, принимается наиболее рациональная схема «Радиальная схема с резервированием на секции шин источника питания (РУ-10 кВ ГПП)»;
- для применения на всех двухтрансформаторных ЦТП-10/0,4 кВ, питающих потребители 1 и 2 категории надёжности внутренней СЭС, принимается «Радиальная схема с резервированием на секции шин РУ-10 кВ и РУ-0,4 кВ»;
- для схемы собственных нужд на стороне НН предусматривается отдельная работа ТСН, каждого на свою секцию, с АВР на секционной связи.

Осуществлён расчёт следующих токов короткого замыкания в проектируемой системе электроснабжения мясокомбината:

- максимальных токов трёхфазного КЗ на выводах трансформатора ГПП-110/10 кВ в максимальном режиме работы;

- минимальных токов двухфазного КЗ на выводах трансформатора ГПП-110/10 кВ в максимальном режиме работы;
- ударных токов трёхфазного КЗ на выводах трансформатора ГПП-110/10 кВ в максимальном режиме работы.

Проведён детальный практический расчёт и последующее обоснование технических мероприятий и решений по выбору проводников и электрических аппаратов с целью их установки на ГПП системы внешнего электроснабжения мясокомбината.

Согласно дальнейшей перспективе по развитию системы электроснабжения объекта проектирования, для питающих ВЛ-110 кВ принята марка сталеалюминиевого провода АС-70/11.

Для питания цеховых ТП-10/0,4 кВ выбраны и проверены сечения всех кабельных линий с использованием марки кабелей современного типа марки АСБ-10. Выбрана и проверена ошиновка для применения в РУ-110 кВ и РУ-10 кВ ГПП СЭС объекта проектирования: для применения в ОРУ-110 кВ, принята гибкая ошиновка, выполненная с применением проводов марки АС-70/11, а в РУ-10 кВ – ошиновка жёсткого типа марки ШАТ-60×10.

Осуществлён выбор современных электрических аппаратов ГПП, для их установки в РУ-110 кВ и РУ-10 кВ ГПП-110/10 кВ СЭС мясокомбината.

Таким образом, в работе спроектирована система электроснабжения мясокомбината, которая может быть рассмотрена для применения на аналогичных предприятиях пищевой промышленности.

Список используемых источников

1. ГОСТ 32144-2013. «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения». [Электронный ресурс]: URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200104301> (дата обращения: 03.03.2023).
2. ГОСТ Р 59279-2020 «Схемы принципиальные электрические распределительных устройств от 35 до 750 кВ подстанций». [Электронный ресурс]: URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200177281> (дата обращения: 03.03.2023).
3. Ерошенко С.А. Расчет токов коротких замыканий в энергосистемах: учебное пособие / С. А. Ерошенко. УрФУ им. Б.Н. Ельцина. Екатеринбург: Изд. УрФу, 2019. 104 с.
4. Кабышев И.П. Выбор схем электроснабжения и практические расчёты по выбору оборудования. М.: Энергоиздат, 2018. 210 с., ил.
5. Кадомская К.П., Лавров Ю.А. Электрооборудование высокого напряжения нового поколения. Вологда: Инфра-Инженерия, 2018. 343 с.
6. Неклепаев Б.Н., Крючков И.П. Электрическая часть электростанций и подстанций. Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования: Учеб. пособие для ВУЗов. 5-е издание, перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 2018. 608 с.
7. Описание технологического процесса мясокомбината. [Электронный ресурс]: URL: https://studwood.net/1247174/ekologiya/opisanie_tehnologicheskogo_protsesta_m_yasokombinata (дата обращения: 03.03.2023).
8. Постановление Правительства РФ от 16.02.2008 N 87 (ред. от 01.12.2021) «О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию» [Электронный ресурс]: URL: <https://docs.cntd.ru/document/902087949> (дата обращения: 03.03.2023).

9. Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей. 6-е изд., перераб. и доп. М: Энергоатомиздат, 2019. 174 с.
10. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. 4-е изд., перераб. и доп. М: Энергоатомиздат, 2018. 392 с.: ил.
11. Правила устройства электроустановок. 7-е изд., перераб. и доп. М.: Главгосэнергонадзор России, 2018. 692 с.
12. Практические решения для идеального мясокомбината. [Электронный ресурс]: URL: <https://www.meatbranch.com/publ/view/731.html> (дата обращения: 03.03.2023).
13. РД 153-34.0-20.527-98 «Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования» [Электронный ресурс]: URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294817/4294817179.htm> (дата обращения: 01.03.2023).
14. Рогалев Н.Д. Энергосбережение: учебное пособие для ВУЗов. Москва: МЭИ, 2020. 242 с.
15. Самарин О. Д. Энергосбережение. Энергоэффективность. Москва: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2019. 296 с.
16. Сибикин Ю.Д. Монтаж, эксплуатация и ремонт электрооборудования промышленных предприятий и установок. Вологда: Инфра-Инженерия, 2019. 464 с.
17. Сибикин Ю.Д. Электроснабжение. Вологда: Инфра-Инженерия, 2017. 328 с.
18. Справочник по проектированию электрических сетей / под ред. Д.Л. Файбисовича. 4-е изд., перераб. и доп. М.: ЭНАС, 2018. 312 с.
19. Фролов Ю. М. Основы электроснабжения / Ю.М. Фролов, В.П. Шелякин. М.: Лань, 2019. 480 с.
20. Шеховцов В. П. Справочное пособие по электрооборудованию и электроснабжению / В.П. Шеховцов. М.: Форум, Инфра-М, 2019. 136 с.