

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

Институт энергетики и электротехники

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»

13.03.02 Электроэнергетика и электротехника  
(код и наименование направления подготовки, специальности)

Электроснабжение  
(направленность (профиль)/специализация)

## БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему «Электроснабжение мясоперерабатывающего комбината Самарской области»

Студент	<u>А.А. Бондаренко</u> (И.О. Фамилия)	_____	(личная подпись)
Руководитель	<u>А.А. Кувшинов</u> (И.О. Фамилия)	_____	(личная подпись)
Консультанты	_____	_____	(личная подпись)
	_____	_____	(личная подпись)

**Допустить к защите**

Заведующий кафедрой д.т.н., профессор В.В. Вахнина  
(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

\_\_\_\_\_

(личная подпись)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2017 г.

Тольятти 2017

## Аннотация

Рынок мяса в России является крупнейшим из продовольственных, опережая зерновой и молочный рынки. Благодаря программе импортозамещения, растет доля отечественных производителей, что подтверждается данными ИКАР и Росстата. Импорт мяса в Россию сократился с 1,8 млн. тонн в 2014 году до 1,2-1,3 млн. тонн в 2016. Основными факторами оказались: запрет поставок свинины из ЕС, падение курса рубля, из-за которого импортная продукция оказалась фактически неконкурентоспособной.

Все это привело к росту объемов производства мясных полуфабрикатов и колбасных изделий в России, а, следовательно, к повышению электропотребления предприятиями мясоперерабатывающей промышленности из-за роста производственных мощностей. Поэтому тема выпускной квалификационной работы, направленная на разработку системы электроснабжения мясоперерабатывающего комбината ООО «Бекон» является актуальной.

Цель работы - обеспечение надежного электроснабжения потребителей. Задачи работы: расчет электрических нагрузок мясоперерабатывающего комбината; выбор мощностей электрических источников; выбор электрооборудования и питающих электрических сетей схемы электроснабжения комбината; безопасность и экологичность проекта; экономическая эффективность проекта.

Объект работы - мясоперерабатывающий комбинат ООО «Бекон».

Предмет работы – система электроснабжения мясоперерабатывающего комбината.

## СОДЕРЖАНИЕ

	стр.
Введение	4
1 Краткая характеристика технологического процесса мясоперерабатывающего комбината	6
2 Краткая характеристика электроприемников мясоперерабатывающего комбината	8
3 Определение расчетных нагрузок мясоперерабатывающего комбината	9
4 Определение центра электрических нагрузок мясокомбината. Картограмма нагрузок	11
5 Анализ существующей схемы электроснабжения мясоперерабатывающего комбината	12
6 Выбор числа и мощности трансформаторов цеховых подстанций	13
7 Предварительный выбор сечений кабельных линий распределительной сети 10 кВ мясоперерабатывающего комбината	15
8 Расчет цеховой сети мясоперерабатывающего комбината	17
9 Расчет токов КЗ	20
10 Выбор коммутационного оборудования схемы электроснабжения мясоперерабатывающего комбината	27
10.1 Выбор коммутационного электрооборудования, трансформатора тока и напряжения 10 кВ	27
10.2 Выбор коммутационного электрооборудования 0,4 кВ	29
11 Опыт планирования ремонта электромагнитного оборудования на мясоперерабатывающем комбинате	33
12 Безопасность и экологичность работы. Пример расчета защитного заземления ТП1	41
13 Экономическая эффективность работы	43
Заключение	47
Список использованных источников	48

## **Введение**

Российский рынок мяса и мясных продуктов является самым крупным сектором продовольственного рынка: за ним следует зерновой, затем молочный. Его роль определяется не только растущими объемами производства, спроса и потребления мясных продуктов, но и их значимостью как основного источника белка животного происхождения в рационе человека. Возросла конкурентная способность российских производителей в связи с ограничением ввоза импортной продукции, кормов и оборудования. Однако за последние годы происходит рост объемов производства мясных полуфабрикатов и колбасных изделий, что ведет к повышению электропотребления предприятиями мясоперерабатывающей промышленности из-за роста производственных мощностей. Следует отметить, что при этом должно обеспечиваться заданная надежность электроснабжения потребителей всех уровней технологической цепочки, что достигается рациональным выбором схемы питания и конфигурации распределительных и цеховых сетей, выбором числа и мощности силовых трансформаторов на всех ступенях напряжения, применением современного электротехнического оборудования в электрических сетях предприятия.

Наблюдается тенденция увеличения доли корпоративных производителей за счет снижения доли частных подсобных хозяйств. Как часть сектора птицеводства, наиболее активно растет производство мяса индейки – она становится все более популярной в России.

Однако за последние годы происходит рост объемов производства мясных полуфабрикатов и колбасных изделий, что ведет к повышению электропотребления предприятиями мясоперерабатывающей промышленности из-за роста производственных мощностей.

Целью работы является обеспечение надежного электроснабжения потребителей мясоперерабатывающего комбината.

Задачи работы:

- анализ технологического процесса мясоперерабатывающего комбината;
- расчет электрических нагрузок мясоперерабатывающего комбината;
- выбор мощностей электрических источников;
- выбор электрооборудования и питающих электрических сетей схемы электроснабжения комбината;
- безопасность и экологичность проекта;
- экономическая эффективность проекта.

## **1 Краткая характеристика технологического процесса мясоперерабатывающего комбината**

ООО «Бекон» основано в 1992 году в п. Смышляевский Волжского района Самарской обл. Поставщиками сырья являются сельхозпроизводители Самарской области. Ассортиментный ряд - 80 наименований продукции (рисунок 1.1). Её высокое качество подтверждают различные дипломы и награды престижных Всероссийских и региональных сельскохозяйственных выставок, в которых ООО «Бекон» постоянный участник. ООО «Бекон» неоднократный победитель конкурса «100 лучших товаров России». Компания имеет собственную торговую сеть. Потенциал предприятия, благоприятная рыночная среда для мясного производства, предприимчивость и целеустремленность его руководства стали стимулом для устойчивого развития компании.



Рисунок 1.1 – Ассортимент продукции ООО «Бекон»

На мясоперерабатывающем комбинате используют следующие сырье и материалы [5]:

- полутуши говядины;
- полутуши свинины;

- соль поваренную пищевую, сахар-песок, натрий азотистокислый и др. пищевые добавки; воду питьевую; шпагат, пленку и др. материалы.

Забой скота и превращение в сырьевой продукт производится непосредственно на мясоперерабатывающем комбинате.

На рисунке 1.2 приведен мясоперерабатывающий цех ООО «Бекон».



Рисунок 1.2 – Мясоперерабатывающий цех

В состав мясоперерабатывающего комбината входят: цехи предубойного содержания скота, цеха по первичной переработке, цех жировой, мясожирового производства, мясоперерабатывающий цех, цех по производству копченых, вареных колбас и деликатесов, цех по производству полуфабрикатов, компрессорный цех, столовая, магазин и др. вспомогательные производства.

## **2 Краткая характеристика электроприемников мясоперерабатывающего комбината**

Перечень цехов мясоперерабатывающего комбината с мощностью установленных электроприемников:

- цеха предубойного содержания скота – 32,2 кВт,
- цеха по первичной переработке - 209,6 кВт,
- цех жировой кВт – 165,3 кВт,
- цех мясозирового производства – 502,
- мясоперерабатывающий цех – 802,3 кВт,
- цех по производству копченых, вареных колбас и деликатесов – 140 кВт,
- цех по производству полуфабрикатов – 167 кВт,
- компрессорный цех – 185 кВт,
- насосная – 185 кВт;
- столовая – 80 кВт;
- магазин и др. вспомогательные производства – 148 кВт.

Основными электроприемниками являются: моечные машины, электроподъемники и электропогрузчики, вытяжная вентиляция, компрессоры, кондиционеры, насосы, шприцы для наполнения колбас, фаршмашины, автоматические транспортеры и линии, тестомесильные и пельменные аппараты, система внутреннего и наружного освещения и др.

Электроприемники мясоперерабатывающего комбината относятся ко 2 и 3 категории надежности электроснабжения [1].



### 3 Определение расчетных нагрузок мясоперерабатывающего комбината

Расчет электрических нагрузок мясоперерабатывающего комбината выполнен по методикам, изложенным в [3,10,13,14,18,19]. Исходными данными для расчета являются установленные мощности технологического оборудования цеха, режимы работы электроприемников, коэффициенты использования и мощности.

Последовательность определения расчетных нагрузок мясоперерабатывающего комбината приведена в таблице 3.1.

Таблица 3.1 - Последовательность определения расчетных нагрузок мясоперерабатывающего комбината

Определяемая величина	Расчетные формулы
Средняя нагрузка ЭП	$P_{ci} = K_{ui} \cdot \sum P_{номi}$ $Q_{ci} = P_{ci} \cdot tg\varphi$
Средняя нагрузка для группы ЭП	$P_{cp\Sigma} = \sum_k P_{cpi}$ $Q_{cp\Sigma} = \sum_k Q_{cpi}$
Коэффициент использования для группы ЭП	$K_{иср} = \frac{P_{cp\Sigma}}{\sum P_{ном}}$
Эффективное число ЭП	$n_{\text{э}} = \frac{2 \cdot \sum P_{ном}}{P_{н\max}}$
Расчетная нагрузка освещения	$P_{p.o.} = P_{н.o.} \cdot K_{c.o.}$
Расчетные нагрузки	$P_p = K_m \cdot P_{c\Sigma}$ $Q_p = K_b \cdot Q_{c\Sigma}$
	$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}$
	$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_n}$

Расчет нагрузок мясоперерабатывающего комбината сведен в таблицу 3.2.

Таблица 3.2 - Расчет нагрузок мясоперерабатывающего комбината

Наименование цеха	$P_p$ , кВт	$Q_p$ , квар	$S_p$ , кВА
Цех предубойного содержания скота	287,1	137,9	319,8
Цех по первичной переработке	123,1	114,1	178,9
Цех жировой	112,4	127,5	170,4
Цех мясожирового производства	609,8	266,2	711,5
Мясоперерабатывающий цех	469,2	541,3	785,9
Цех по производству копченых, вареных колбас и мясных деликатесов	244,9	169,3	297,8
Цех по производству полуфабрикатов	118,6	99,7	154,2
Компрессорный цех	495,5	361,7	613,5
Столовая	126,4	40,8	
Магазин	164	52,9	172,9
Насосная	156,1	91,7	181,0
Компрессорный цех	495,5	361,7	613,2
Гараж	117,4	94,6	150,9
Итого по комбинату	6305,2	4096,8	7653,2

Расчетная мощность мясоперерабатывающего комбината с учетом потерь мощности в силовых трансформаторах:

$$S_{p,\Sigma} = \sqrt{P_{p,\Sigma}^2 + Q_{p,\Sigma}^2} = \sqrt{10151,046^2 + 8163,58^2} = 13026,45 \text{кВА} .$$

#### 4 Определение центра электрических нагрузок мясоперерабатывающего комбината. Картограмма нагрузок

Центр электрических нагрузок определяется по алгоритму [10].

Расчет центров электрических нагрузок мясоперерабатывающего комбината сведен в таблицу 4.1.

Таблица 4.1 - Расчет центров электрических нагрузок мясоперерабатывающего комбината

Наименование цеха	$P_p$ , кВт	$P_{росв}$ , кВт	$x_i$ , м	$y_i$ , м	$r_i$ , м
Цех предубойного содержания скота	287,1	107,2	93,2	127,1	18,7
Цех по первичной переработке	123,1	115,7	95,6	62,1	28,8
Цех жировой	112,4	15,2	23,1	114,2	12,5
Цех мясожирового производства	609,8	334,2	74,6	201,3	37,8
Мясоперерабатывающий цех	469,2	63,1	42,1	128,3	32,5
Цех по производству копченых, вареных колбас и мясных деликатесов	244,9	112,3	114,5	178,9	21,8
Цех по производству полуфабрикатов	118,6	129,1	165,2	193,2	18,5
Компрессорный цех	495,5	13,2	13,1	156,2	41,2
Столовая	126,4	71,9	96,2	228,6	19,1
Магазин	164,3	94,1	9,46	234,7	21,8
Насосная	156,1	8,1	127,3	232,5	21,4
Компрессорный цех	495,5	15,2	38,5	156,7	36,9
Гараж	117,4	59,2	95,6	55,7	18,4

## **5 Анализ существующей схемы электроснабжения мясоперерабатывающего комбината**

Внешнее электроснабжение мясоперерабатывающего комбината осуществляется от подстанции 110/10 кВ «Смышляевская» с РП 10 кВ.

На РП 10 кВ в ячейках КРУ типа КСО-2 установлены масляные выключатели типа ВМПЭ-10, трансформаторы тока типа ТПЛ-10 и трансформаторы напряжения типа НТМИ-10.

Питание РП 10 кВ выполнено кабелями с бумажно-масляной изоляцией типа ААБГ, проложенными в траншее.

Для электроснабжения потребителей 0,4 кВ мясоперерабатывающего комбината установлены КТП с трансформаторами типа ТМ-250/10/0,4, ТМ-400/630/0,4 ТМ-630/10/0,4, ТМ-1000/10/0,4.

Схема электроснабжения на напряжении 0,4 кВ принята радиальной и выполнена кабельными линиями 0,4 кВ с бумажно-масляной изоляцией типа АВВГ, проложенными в траншеях, открыто по стенам зданий, в кабельных лотках и каналах.

На ТП мясоперерабатывающего комбината установлены трансформаторы марки ТМ с номинальной мощностью 250 кВА, 400 кВА, 630 кВА, 1000 кВ.

## 6 Выбор числа и мощности трансформаторов цеховых подстанций

Выбор числа и мощности трансформаторов цеховых подстанций выполнен по литературе [11] и справочным данным [15] и приведен в таблице 6.1.

Таблица 6.1 - Выбор числа и мощности трансформаторов цеховых подстанций

№ ТП	$P_p$ , кВт	$Q_p$ , квар	$Q_{ккв}$ , квар	$S_{нт}$ , кВА
ТП-1	705,8	352,8	50	2x630
ТП-2	1302,1	781,3	150	2x1000
ТП-3	470,2	331,6	100	2x400
ТП-4	504,4	296,3	100	2x400
ТП-5	718,4	601,3	150	2x630
ТП-6	723,4	673,2	150	2x630
ТП-7	599,4	542,1	150	2x630
ТП-8	599,2	271,2	100	2x630
ТП-9	398,2	229,2	100	2x400

Расчет потерь мощности в трансформаторах ТП мясоперерабатывающего комбината выполнен в соответствии с методикой, изложенной в [14,19].

Потери активной мощности в трансформаторах:

$$\Delta P_T = (\Delta P_x + K_3^2 \cdot \Delta P_k) S_{нт} \cdot n$$

Потери реактивной мощности в трансформаторах

$$\Delta Q_T = \left( \frac{I_{x.x}}{100} + \frac{U_{к.з} \cdot K_3^2}{100} \right) S_{нт} \cdot n$$

Суммарная расчетная нагрузка ТП с учетом потерь мощности в трансформаторах:

$$S_p = \sqrt{(P_p + \Delta P_T)^2 + (Q_p + \Delta Q_T)^2}$$

Потери мощности в трансформаторах ТП:

ТП-1  $\Delta P_T=16,18$  кВт,  $\Delta Q_T=78,86$  кВар

ТП-2  $\Delta P_T=7,85$  кВт,  $\Delta Q_T=49,32$  кВар

ТП-3  $\Delta P_T=6,19$  кВт,  $\Delta Q_T=30,20$  кВар

ТП-4  $\Delta P_T=6,61$  кВт,  $\Delta Q_T=31,55$  кВар

ТП-5  $\Delta P_T=8,35$  кВт,  $\Delta Q_T=51,84$  кВар

ТП-6  $\Delta P_T=8,35$  кВт,  $\Delta Q_T=51,84$  кВар

ТП-7  $\Delta P_T=8,02$  кВт,  $\Delta Q_T=50,18$  кВар

ТП-8  $\Delta P_T=7,23$  кВт,  $\Delta Q_T=46,16$  кВар

ТП-9  $\Delta P_T=6,33$  кВт,  $\Delta Q_T=30,64$  кВар.

## 7 Предварительный выбор сечений кабельных линий распределительной сети 10 кВ мясоперерабатывающего комбината

Сечения питающих кабельных линий 10 кВ от внешнего источника питания ГПП «Смышляевская» выбираются в соответствии с рекомендациями ПУЭ [1] и литературы [9] и приведены в таблице 7.1. Кабельные прокладываются в траншее, расстояние от ГПП до мясоперерабатывающего комбината 3,7 км.

Таблица 7.1 – Выбор сечения питающих кабельных линий 10 кВ

Тип КЛ	Условия проверки	Расчетное значение	Паспортное значение
АПвПг (3x800)	$I_p \leq I_{ном}$	342 А	780 А
	$I_{рав.} \leq I_{ном}$	692,4 А	780 А
	$S_3$	268 мм <sup>2</sup>	800 мм <sup>2</sup>

Выбор сечений кабельных линий распределительной сети 10 кВ приведен в таблице 7.2 с использованием данных справочной литературы [9,22].

Таблица 7.2 - Выбор сечений кабельных линий распределительной сети 10 кВ

№ КЛ	$I_p$ , А	$I_{рав.}$ , А	$L$ , м	Способ прокладки	Тип КЛ
КЛ1	29,5	59,3	120	траншея	АПвП(3x50)
КЛ2	28,1	56,2	63	кабельный канал	АПвП(3x50)
КЛ3	20,5	41,3	102	кабельный канал	АПвП(3x50)
КЛ4	23,6	47,2	56	траншея	АПвП(3x50)
КЛ5	17,3	34,2	152	траншея	АПвП(3x50)
КЛ6	27,2	43,2	49	траншея	АПвП(3x50)

Продолжение таблицы 7.2

№ КЛ	$I_p, A$	$I_{раа}, A$	$L, м$	Способ прокладки	Тип КЛ
КЛ7	15,2	31,6	104	траншея	АПвП(3x50)
КЛ8	137,2	275	22	траншея	АПвБб(4x50)
КЛ9	62,1	72,3	16,5	открыто	АПвБб(4x16)
КЛ10	62,1	72,3	16,5	открыто	АПвБб(4x16)
КЛ11	266,3	325,1	45,3	открыто	АПвБб(4x120)
КЛ12	185,1	369,1	40,2	открыто	АПвБб(4x120)
КЛ13	226,2	452,1	45,2	открыто	АПвБб(4x35)
КЛ14	101,2	203,5	19,0	открыто	АПвБб(4x35)
КЛ15	113,4	226,7	43,0	открыто	АПвБб(4x95)
КЛ16	463,7	772,3	43,0	траншея	АПвБб(4x180)
КЛ17	141,7	264,5	29,0	траншея	АПвБб(4x50)



## 8 Расчет цеховой сети мясоперерабатывающего комбината

Электрическая сеть 0,4 кВ мясоперерабатывающего комбината выполнена по радиальной схеме кабельными линиями.

Сечения кабельных линий распределительной сети выбираются в соответствии с рекомендациями ПУЭ [1] и проверяются по потере напряжения:

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

В соответствии со справочными данными [9,16,22] выбраны следующие кабельные линии для цеховой сети 0,4 кВ мясоперерабатывающего комбината:

СП-1 - АВВГ (4x2,5),  $r_0=11,2$  Ом/м,  $x_0=0,112$  Ом/м,  $L=2,6$  м,  $\Delta U = 0,02\%$

СП-2 - АВВГ (4x4),  $r_0=9,61$  Ом/м,  $x_0=0,098$  Ом/м,  $L=0,9$  м,  $\Delta U = 0,1\%$

АВВГ (4x4),  $r_0=9,61$  Ом/м,  $x_0=0,098$  Ом/м,  $L=2,9$  м,  $\Delta U = 0,31\%$

АВВГ (4x4),  $r_0=9,61$  Ом/м,  $x_0=0,098$  Ом/м,  $L=5$  м,  $\Delta U = 0,54\%$

АВВГ (4x4),  $r_0=9,61$  Ом/м,  $x_0=0,098$  Ом/м,  $L=7,6$  м,  $\Delta U = 0,82\%$

АВВГ (4x4),  $r_0=9,61$  Ом/м,  $x_0=0,098$  Ом/м,  $L=9,6$  м,  $\Delta U = 1,03\%$

АВВГ (4x4),  $r_0=9,61$  Ом/м,  $x_0=0,098$  Ом/м,  $L=12,4$  м,  $\Delta U = 1,33\%$

АВВГ (4x4),  $r_0=9,61$  Ом/м,  $x_0=0,098$  Ом/м,  $L=14,4$  м,  $\Delta U = 1,55\%$

АВВГ (4x4),  $r_0=9,61$  Ом/м,  $x_0=0,098$  Ом/м,  $L=17,1$  м,  $\Delta U = 1,8\%$

СП-3 - АВВГ (4x2,5),  $r_0=11,2$  Ом/м,  $x_0=0,112$  Ом/м,  $L=3,9$  м,  $\Delta U = 0,14\%$

АВВГ (4x2,5),  $r_0=11,2$  Ом/м,  $x_0=0,112$  Ом/м,  $L=2,3$  м,  $\Delta U = 0,08\%$

АВВГ (4x2,5),  $r_0=11,2$  Ом/м,  $x_0=0,112$  Ом/м,  $L=2,9$  м,  $\Delta U = 0,06\%$

АВВГ (4x2,5),  $r_0=11,2$  Ом/м,  $x_0=0,112$  Ом/м,  $L=2,3$  м,  $\Delta U = 0,08\%$

СП-3 - АВВГ (4x2,5),  $r_0=11,2$  Ом/м,  $x_0=0,112$  Ом/м,  $L=10$  м,  $\Delta U = 0,64\%$

АВВГ (4x2,5),  $r_0=11,2$  Ом/м,  $x_0=0,112$  Ом/м,  $L=8,4$  м,  $\Delta U = 0,07\%$

АВВГ (4x2,5),  $r_0=11,2$  Ом/м,  $x_0=0,112$  Ом/м,  $L=8,7$  м,  $\Delta U = 0,41\%$

АВВГ (4x2,5),  $r_0=11,2$  Ом/м,  $x_0=0,112$  Ом/м,  $L=4,2$  м,  $\Delta U = 0,27\%$

АВВГ (4x2,5),  $r_0=11,2$  Ом/м,  $x_0=0,112$  Ом/м,  $L=7,7$  м,  $\Delta U = 0,49\%$

АВВГ (4x2,5),  $r_0=11,2$  Ом/м,  $x_0=0,112$  Ом/м,  $L=10,7$  м,  $\Delta U = 0,7\%$

СП-5 - АВВГ (4x2,5),  $r_0=11,2$  Ом/м,  $x_0=0,112$  Ом/м,  $L=2,5$  м,  $\Delta U = 0,02\%$

АВВГ (4x2,5),  $r_0=11,2$  Ом/м,  $x_0=0,112$  Ом/м,  $L=7,8$  м,  $\Delta U = 0,07\%$

АВВГ (4x2,5),  $r_0=11,2$  Ом/м,  $x_0=0,112$  Ом/м,  $L=11,4$  м,  $\Delta U = 0,09\%$

АВВГ (4x2,5),  $r_0=11,2$  Ом/м,  $x_0=0,112$  Ом/м,  $L=6,6$  м,  $\Delta U = 0,05\%$

АВВГ (4x2,5),  $r_0=11,2$  Ом/м,  $x_0=0,112$  Ом/м,  $L=7,8$  м,  $\Delta U = 0,27\%$

АВВГ (4x2,5),  $r_0=11,2$  Ом/м,  $x_0=0,112$  Ом/м,  $L=1,8$  м,  $\Delta U = 0,06\%$

АВВГ (4x2,5),  $r_0=11,2$  Ом/м,  $x_0=0,112$  Ом/м,  $L=7,1$  м,  $\Delta U = 0,02\%$

АВВГ (4x2,5),  $r_0=11,2$  Ом/м,  $x_0=0,112$  Ом/м,  $L=10,5$  м,  $\Delta U = 0,67\%$

АВВГ (4x2,5),  $r_0=11,2$  Ом/м,  $x_0=0,112$  Ом/м,  $L=7,2$  м,  $\Delta U = 0,07\%$

АВВГ (4x2,5),  $r_0=11,2$  Ом/м,  $x_0=0,112$  Ом/м,  $L=9,3$  м,  $\Delta U = 0,08\%$

АВВГ (4x2,5),  $r_0=11,2$  Ом/м,  $x_0=0,112$  Ом/м,  $L=12,4$  м,  $\Delta U = 0,1\%$

АВВГ (4x2,5),  $r_0=11,2$  Ом/м,  $x_0=0,112$  Ом/м,  $L=3$  м,  $\Delta U = 0,05\%$

АВВГ (4x2,5),  $r_0=11,2$  Ом/м,  $x_0=0,112$  Ом/м,  $L=9,5$  м,  $\Delta U = 0,45\%$

АВВГ (4x2,5),  $r_0=11,2$  Ом/м,  $x_0=0,112$  Ом/м,  $L=10,7$  м,  $\Delta U = 0,7\%$

СП-7 - АВВГ (4x2,5),  $r_0=11,2$  Ом/м,  $x_0=0,112$  Ом/м,  $L=10$  м,  $\Delta U = 0,08\%$

АВВГ (4x2,5),  $r_0=11,2$  Ом/м,  $x_0=0,112$  Ом/м,  $L=9,6$  м,  $\Delta U = 0,08\%$

АВВГ (4x2,5),  $r_0=11,2$  Ом/м,  $x_0=0,112$  Ом/м,  $L=10,5$  м,  $\Delta U = 0,37\%$

АВВГ (4x2,5),  $r_0=11,2 \text{ Ом/м}$ ,  $x_0=0,112 \text{ Ом/м}$ ,  $L=9,3 \text{ м}$ ,  $\Delta U = 0,03\%$

АВВГ (4x2,5),  $r_0=11,2 \text{ Ом/м}$ ,  $x_0=0,112 \text{ Ом/м}$ ,  $L=10,9 \text{ м}$ ,  $\Delta U = 1,17\%$

АВВГ (4x2,5),  $r_0=11,2 \text{ Ом/м}$ ,  $x_0=0,112 \text{ Ом/м}$ ,  $L=9,6 \text{ м}$ ,  $\Delta U = 0,14\%$

СП-7 -АВВГ (4x2,5),  $r_0=11,2 \text{ Ом/м}$ ,  $x_0=0,112 \text{ Ом/м}$ ,  $L=10,4 \text{ м}$ ,  $\Delta U= 0,09\%$

АВВГ (4x2,5),  $r_0=11,2 \text{ Ом/м}$ ,  $x_0=0,112 \text{ Ом/м}$ ,  $L=8,9 \text{ м}$ ,  $\Delta U = 0,07\%$

АВВГ (4x2,5),  $r_0=11,2 \text{ Ом/м}$ ,  $x_0=0,112 \text{ Ом/м}$ ,  $L=8,5 \text{ м}$ ,  $\Delta U = 0,07\%$

АВВГ (4x2,5),  $r_0=11,2 \text{ Ом/м}$ ,  $x_0=0,112 \text{ Ом/м}$ ,  $L=4 \text{ м}$ ,  $\Delta U = 0,03\%$

АВВГ (4x2,5),  $r_0=11,2 \text{ Ом/м}$ ,  $x_0=0,112 \text{ Ом/м}$ ,  $L=9,4 \text{ м}$ ,  $\Delta U = 0,33\%$

АВВГ (4x2,5),  $r_0=11,2 \text{ Ом/м}$ ,  $x_0=0,112 \text{ Ом/м}$ ,  $L=8,5 \text{ м}$ ,  $\Delta U = 0,3\%$

АВВГ (4x16),  $r_0=11,2 \text{ Ом/м}$ ,  $x_0=0,112 \text{ Ом/м}$ ,  $L=5,5 \text{ м}$ ,  $\Delta U = 0,36\%$

СП-9 -АВВГ (4x2,5),  $r_0=11,2 \text{ Ом/м}$ ,  $x_0=0,112 \text{ Ом/м}$ ,  $L=2,8 \text{ м}$ ,  $\Delta U= 0,1\%$

АВВГ (4x2,5),  $r_0=11,2 \text{ Ом/м}$ ,  $x_0=0,112 \text{ Ом/м}$ ,  $L=1,6 \text{ м}$ ,  $\Delta U = 0,06\%$

АВВГ (4x2,5),  $r_0=11,2 \text{ Ом/м}$ ,  $x_0=0,112 \text{ Ом/м}$ ,  $L=3,6 \text{ м}$ ,  $\Delta U = 0,34\%$

## 9 Расчет токов КЗ

Для расчетов токов КЗ на стороне 10 кВ составлена расчетная схема с указанием выбранных точек КЗ и схема замещения (рисунки 9.1 и 9.2). Расчеты токов КЗ в электрической сети 10 кВ мясоперерабатывающего комбината выполнены по [6,8].

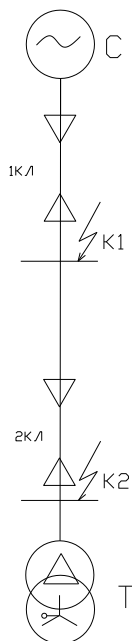


Рисунок 9.1 – Расчетная схема на стороне 10 кВ

Расчетные характеристики расчетной схемы замещения:

Система:  $U_H=10,5$  кВ;  $S_{C10} = 800$  МВА

Линия КЛ1 10 кВ от РП-10 кВ:  $U_H=10$  кВ,  $x_0 = 0,105$  Ом/км,  $r_0 = 0,083$  Ом/км,  $l=3,7$  км

Линия КЛ2 10 кВ от РП-10 до 1 с.ш. Т1 ТП1:  $U_H=10$  кВ,  $x_0 = 0,151$  Ом/км,  $r_0 = 0,126$  Ом/км,  $l=64$  м

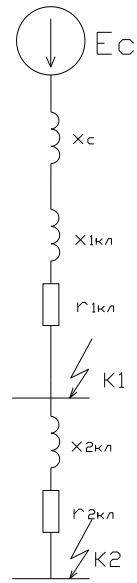


Рисунок 9.2 - Схема замещения для расчета токов КЗ на стороне 10 кВ

Точка К1

Расчетные сопротивления для К1

$$x_c = x_{*c} \frac{S_B}{S_C} = 0,6 \cdot \frac{800}{800} = 0,6 \text{ o.e}$$

$$I_B = \frac{S_B}{\sqrt{3} \cdot U_{B1}} = \frac{800}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 43,98 \text{ кА.}$$

$$x_{кЛ1} = x_0 \cdot L_1 \frac{S_B}{U_6^2} = 0,105 \cdot 3,7 \cdot \frac{800}{10^2} = 2,82 \text{ o.e}$$

$$r_{кЛ1} = r_0 \cdot L_1 \frac{S_B}{U_6^2} = 0,083 \cdot 3,7 \cdot \frac{800}{10^2} = 2,23 \text{ o.e}$$

### Расчетный ток КЗ

$$I_{K1} = \frac{I_{B1}}{X_C + Z_{KЛ1}} = \frac{43,98}{0,6 + \sqrt{2,23^2 + 2,82^2}} = 10,33 \text{ кА}$$

$$I_{уд} = \sqrt{2} K_{уд} I_{K1} = \sqrt{2} \cdot 1,12 \cdot 10,33.$$

### Точка К2

#### Расчетные сопротивления для К2

$$x_{KЛ2} = x_0 \cdot L_2 \frac{S_B}{U_6^2} = 0,151 \cdot 0,064 \cdot \frac{800}{10^2} = 0,07 \text{ о.е}$$

$$r_{KЛ2} = r_0 \cdot L_2 \frac{S_B}{U_6^2} = 0,126 \cdot 0,064 \cdot \frac{800}{10^2} = 0,06 \text{ о.е}$$

### Расчетный ток КЗ

$$I_{K2} = \frac{I_{B1}}{X_C + X_{KЛ1} + X_{KЛ2}} = 10,28 \text{ кА.}$$

Для расчетов токов КЗ на стороне 0,4 кВ составлена расчетная схема с указанием выбранных точек КЗ и схема замещения (рисунок 9.3). Расчеты токов КЗ в электрической сети 0,4 кВ мясоперерабатывающего комбината выполнены по [7,8].

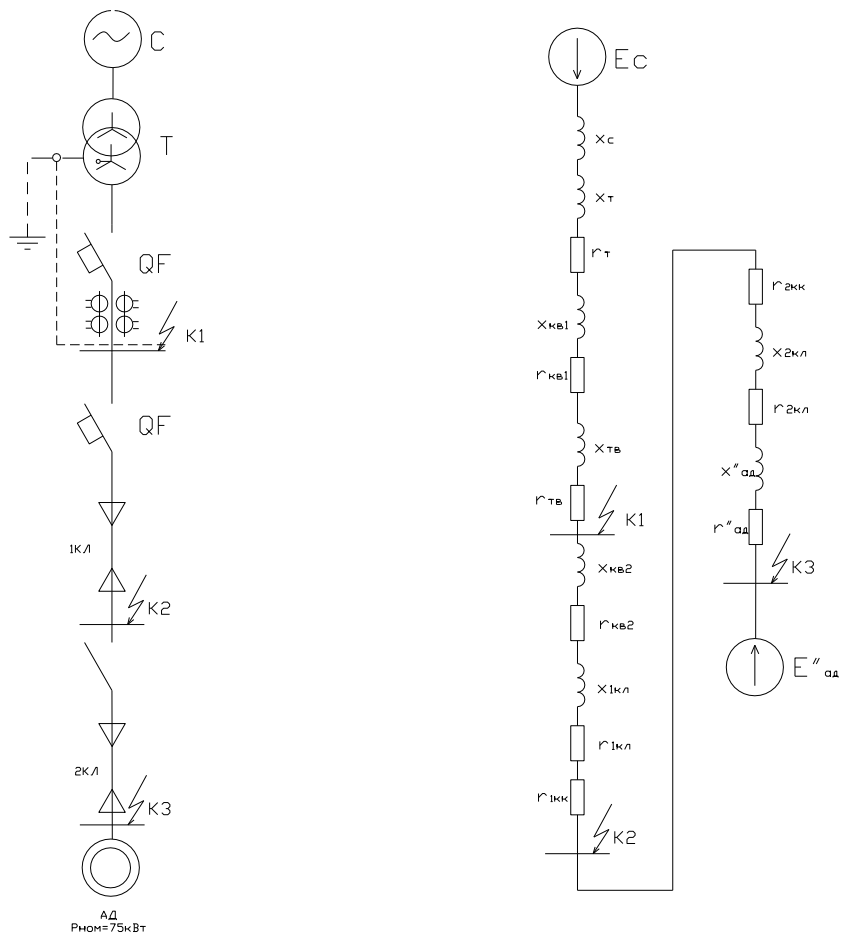


Рисунок 9.3 – Расчетная схема замещения для расчета токов КЗ на стороне 0,4 кВ

Расчет сопротивлений элементов расчетной схемы замещения для расчета токов КЗ на стороне 0,4 кВ приведен в таблице 9.1.

Таблица 9.1 - Расчет сопротивлений элементов расчетной схемы замещения для расчета токов КЗ на стороне 0,4 кВ

Точка КЗ	$x$	Значение, мОм
К1	$x_c$	0,56
	$x_T$	5,38
	$r_T$	3,1
	$x_{KB}$	0,41
	$r_{KB}$	0,13
	$x_{\Sigma 1}$	7,55
	$r_{\Sigma 1}$	3,93
К2	$x_{KЛ1}$	3,5
	$r_{KЛ1}$	17,5
	$x_{KB}$	0,65
	$r_{KB}$	0,17
	$x_{\Sigma 2}$	11,22
	$r_{\Sigma 2}$	23,11
К3	$x_{KЛ2}$	1,68
	$r_{KЛ2}$	164,3
	$x_{\Sigma 3}$	13,07
	$r_{\Sigma 3}$	187,8



Трехфазный ток КЗ 0,4 кВ в точке К1

$$I_{\text{по}} = \frac{U_{\text{ст нн}}}{\sqrt{3}\sqrt{r_{1\Sigma}^2 + x_{1\Sigma}^2}} = \frac{400}{\sqrt{3}\sqrt{3,93^2 + 7,55^2}} = 27,1 \text{ кА};$$

$$i_{\text{уд}} = \sqrt{2} \cdot I_{\text{по max}} \cdot K_{\text{уд}} = \sqrt{2} \cdot 27,1 \cdot 1,2 = 46,1 \text{ кА},$$

Трехфазный ток КЗ 0,4 кВ в точке К2

$$I_{\text{по к2}} = \frac{U_{\text{ст нн}}}{\sqrt{3}\sqrt{r_{2\Sigma}^2 + x_{2\Sigma}^2}} = \frac{400}{\sqrt{3}\sqrt{23,1^2 + 11,22^2}} = 8,99 \text{ кА};$$

$$i_{\text{уд}} = \sqrt{2} \cdot I_{\text{по к2}} \cdot K_{\text{уд}} = \sqrt{2} \cdot 8,99 \cdot 1,15 = 14,62 \text{ кА},$$

Трехфазный ток КЗ 0,4 кВ в точке К3

$$I_{\text{по к3}} = \frac{U_{\text{ст нн}}}{\sqrt{3}\sqrt{r_{3\Sigma}^2 + x_{3\Sigma}^2}} = \frac{400}{\sqrt{3}\sqrt{187,8^2 + 13,073^2}} = 1,2 \text{ кА};$$

$$i_{\text{уд}} = \sqrt{2} \cdot I_{\text{по к3}} \cdot K_{\text{уд}} = \sqrt{2} \cdot 1,2 \cdot 1,02 = 1,73 \text{ кА},$$

Токи трехфазного КЗ в кабельных линиях 0,4 кВ от ТП1 до силовых пунктов:

$$\text{для линии L1 } I_{\kappa L1} = 0,54 \text{ кА}, i_{\text{удL1}} = 0,54 \text{ кА}$$

$$\text{для линии L2 } I_{\kappa L2} = 1,45 \text{ кА}, i_{\text{удL2}} = 1,46 \text{ кА}$$

$$\text{для линии L3 } I_{\kappa L3} = 1,145 \text{ кА}, i_{\text{удL3}} = 1,15 \text{ кА}$$

$$\text{для линии L4 } I_{\kappa L4} = 2,34 \text{ кА}, i_{\text{удL4}} = 2,39 \text{ кА}$$

$$\text{для линии L5 } I_{\kappa L5} = 2,62 \text{ кА}, i_{\text{удL5}} = 2,65 \text{ кА}$$

для линии L6  $I_{\kappa L6} = 2,31$  кА,  $i_{y\delta L6} = 2,41$  кА

для линии L7  $I_{\kappa L7} = 1,1$  кА,  $i_{y\delta L7} = 1,19$  кА

для линии L8  $I_{\kappa L8} = 3,21$  кА,  $i_{y\delta L8} = 3,59$  кА

для линии L9  $I_{\kappa L9} = 1,9$  кА,  $i_{y\delta L9} = 2,12$  кА

## 10 Выбор коммутационного электрооборудования схемы электроснабжения мясоперерабатывающего комбината

### 10.1 Выбор коммутационного электрооборудования, трансформатора тока и напряжения 10 кВ

Выбор коммутационного электрооборудования 10 кВ схемы электроснабжения мясоперерабатывающего комбината делаем по литературе [1,20,21] и приведен в таблице 10.1.

Таблица 10.1 - Выбор коммутационного электрооборудования ОРУ 220 кВ и 10 кВ мясоперерабатывающего комбината

Тип оборудования	Условия проверки	Расчетное значение	Паспортное значение
Выключатель нагрузки ВН-17	$U_{уст} \leq U_{ном}$	10 кВ	10кВ
	$I_p \leq I_{ном}$	46,7 А	63 А
	$I_{вкл} \leq I_K$	10,3 кА	20 кА
	$i_{вкл} \leq i_{пр.с}$	16,25 кА	31,5 кА
Предохранитель ПТК-10	$U_{уст} \leq U_{ном}$	10 кВ	10 кВ
	$I_p \leq I_{ном}$	46,7 А	100 А
	$I_{откл.нно} \leq I_K$	10,3 кА	20 кА

Выбор измерительных трансформаторов тока и напряжения 10 кВ приведен в таблице 10.2 по справочной литературе [20].

Таблица 10.2 – Выбор трансформатора тока и напряжения 10 кВ

Тип оборудования	Условия проверки	Расчетное значение	Паспортное значение
Трансформатор тока ТПШЛ 10	$U_{уст} \leq U_{ном}$	10 кВ	10кВ
	$I_p \leq I_{ном}$	46,7 А	100 А
	Номинальный вторичный ток	5 А	
	Класс точности	0,5/10Р	
	$I_{откл} \leq I_K$	10,3 кА	20 кА
	$i_{вкл} \leq i_{пр.с}$	16,25 кА	31,5 кА
	$B_k \leq I_{тер}^2 \cdot t_T$	24,5 кА <sup>2</sup> ·с	231 кА <sup>2</sup> ·с
	$z_{2ном}$		10 Ом
Трансформатор напряжения НАМИТ-10	$U_{уст} \leq U_{ном}$	10 кВ	10 кВ
	$S_{\sum np} \leq S_{ном}$	200 ВА	200 ВА

## 10.2 Выбор коммутационного электрооборудования 0,4 кВ

Выбор коммутационного электрооборудования 0,4 кВ схемы электроснабжения мясоперерабатывающего комбината делаем по литературе [1,12,16,17].

### 10.2.1 Выбор ВА

Выбор автоматических выключателей делаем для отходящих фидеров 0,4 кВ и вводного выключателя ТП1 и сводим в таблицу 10.3. Для остальных ТП2-ТП9 выбор автоматических выключателей аналогичный.

Таблица 10.3 - Выбор автоматических выключателей отходящих фидеров и вводного выключателя ТП1

№ фидера	Тип оборудования	Условия проверки	Расчетное значение	Паспортное значение
Ввод 0,4	ВА 55-41	$U_{уст} \leq U_{ном}$	0,4 кВ	0,4кВ
		$I_p \leq I_{ном}$	1214 А	1600 А
		$I_{откл} \leq I_K;$	27,1 кА	40кА
		$i_{вкл} \leq i_{пр.с}$	46,1 кА	80 кА
		$B_k \leq I_{тер}^2 \cdot t_T$	1034 кА <sup>2</sup> ·с	2567 кА <sup>2</sup> ·с
Ф.1	ВА 51-25	$U_{уст} \leq U_{ном}$	0,4 кВ	0,4кВ
		$I_p \leq I_{ном}$	26 А	45 А
		$i_{уд} \leq i_{пр.с};$	0,54 кА	12,5 кА
Ф.2	ВА 51-35	$U_{уст} \leq U_{ном}$	0,4 кВ	0,4 кВ
		$I_p \leq I_{ном}$	143 А	200 А
		$i_{вкл} \leq i_{пр.с}$	1,46 кА	12,5 кА
Ф.3	ВА 51-25	$U_{уст} \leq U_{ном}$	0,4 кВ	0,4 кВ
		$I_p \leq I_{ном}$	14,3 А	45 А
		$i_{вкл} \leq i_{пр.с}$	1,15 кА	12,5 кА
Ф.4	ВА 51-31	$U_{уст} \leq U_{ном}$	0,4 кВ	0,4 кВ
		$I_p \leq I_{ном}$	163 А	200 А
		$i_{вкл} \leq i_{пр.с}$	2,39 кА	12,5 кА
Ф.5	ВА 51-29	$U_{уст} \leq U_{ном}$	0,4 кВ	0,4 кВ
		$I_p \leq I_{ном}$	42,8 А	63 А
		$i_{вкл} \leq i_{пр.с}$	2,65 кА	12,5 кА

Продолжение таблицы 10.3

№ фидера	Тип оборудования	Условия проверки	Расчетное значение	Паспортное значение
Ф.6	ВА 51-25	$U_{уст} \leq U_{ном}$	0,4 кВ	0,4 кВ
		$I_p \leq I_{ном}$	32,8 А	40 А
		$i_{вкл} \leq i_{пр.с}$	2,41 кА	12,5 кА
Ф.7	ВА 51-29	$U_{уст} \leq U_{ном}$	0,4 кВ	0,4 кВ
		$I_p \leq I_{ном}$	37,8 А	63 А
		$i_{вкл} \leq i_{пр.с}$	1,19 кА	12,5 кА
Ф.8	ВА 51-31	$U_{уст} \leq U_{ном}$	0,4 кВ	0,4 кВ
		$I_p \leq I_{ном}$	139 А	200 А
		$i_{вкл} \leq i_{пр.с}$	3,59 кА	12,5 кА
Ф.9	ВА 51-31	$U_{уст} \leq U_{ном}$	0,4 кВ	0,4 кВ
		$I_p \leq I_{ном}$	162 А	200 А
		$i_{вкл} \leq i_{пр.с}$	2,12 кА	12,5 кА
Секционный	ВА 55-41	$U_{уст} \leq U_{ном}$	0,4 кВ	0,4кВ
		$I_p \leq I_{ном}$	812 А	1000 А
		$i_{вкл} \leq i_{пр.с}$	27,1 кА	40кА

### 10.2.2 Выбор предохранителей

Выбраны плавкие предохранители:

Для СП-1 типа ПР-2-15 ( $I_{пуск}=9,45 А$ ,  $I_g=2,1 А$ ,  $I_{6н}= 6 А$ )

Для СП-1 типа ПР-2-200 ( $I_{пуск}=190,26 А$ ,  $I_g=27,18 А$ ,  $I_{6н}= 100 А$ )

Для СП-3 типа ПР-2-60 ( $I_{ПУСК}=51,6 \text{ А}$ ,  $I_e=8,6 \text{ А}$ ,  $I_{вн}=15 \text{ А}$ ) и ПР-2-15 ( $I_{ПУСК}=8,1 \text{ А}$ ,  $I_e=1,8 \text{ А}$ ,  $I_{вн}=6 \text{ А}$ )

Для СП-4 типа ПР-2-200 ( $I_{ПУСК}=103,5 \text{ А}$ ,  $I_e=13,8 \text{ А}$ ,  $I_{вн}=100 \text{ А}$ ), ПР-2-15 ( $I_{ПУСК}=10,35 \text{ А}$ ,  $I_e=2,3 \text{ А}$ ,  $I_{вн}=6 \text{ А}$ ) и ПР-2-600 ( $I_{ПУСК}=457,1 \text{ А}$ ,  $I_e=65,3 \text{ А}$ ,  $I_{вн}=350 \text{ А}$ )

Для СП-5 типа ПР-2-15 ( $I_{ПУСК}=10,35 \text{ А}$ ,  $I_e=2,3 \text{ А}$ ,  $I_{вн}=6 \text{ А}$ ), ПР-2-60 ( $I_{ПУСК}=51,6 \text{ А}$ ,  $I_e=8,6 \text{ А}$ ,  $I_{вн}=15 \text{ А}$ ) и ПР-2-100 ( $I_{ПУСК}=64,5 \text{ А}$ ,  $I_e=8,6 \text{ А}$ ,  $I_{вн}=60 \text{ А}$ )

Для СП-6 типа ПР-2-15 ( $I_{ПУСК}=10,35 \text{ А}$ ,  $I_e=2,3 \text{ А}$ ,  $I_{вн}=6 \text{ А}$ ), ПР-2-60 ( $I_{ПУСК}=39,6 \text{ А}$ ,  $I_e=6,6 \text{ А}$ ,  $I_{вн}=15 \text{ А}$ ) и ПР-2-200 ( $I_{ПУСК}=190,26 \text{ А}$ ,  $I_e=27,18 \text{ А}$ ,  $I_{вн}=100 \text{ А}$ )

Для СП-7 типа ПР-2-15 ( $I_{ПУСК}=10,35 \text{ А}$ ,  $I_e=2,3 \text{ А}$ ,  $I_{вн}=6 \text{ А}$ ), ПР-2-100 ( $I_{ПУСК}=64,5 \text{ А}$ ,  $I_e=8,6 \text{ А}$ ,  $I_{вн}=60 \text{ А}$ ) и ПР-2-200 ( $I_{ПУСК}=190,26 \text{ А}$ ,  $I_e=27,18 \text{ А}$ ,  $I_{вн}=100 \text{ А}$ )

Для СП-8 типа ПР-2-200 ( $I_{ПУСК}=103,5 \text{ А}$ ,  $I_e=13,8 \text{ А}$ ,  $I_{вн}=100 \text{ А}$ ), ПР-2-15 ( $I_{ПУСК}=10,35 \text{ А}$ ,  $I_e=2,3 \text{ А}$ ,  $I_{вн}=6 \text{ А}$ ) и ПР-2-600 ( $I_{ПУСК}=457,1 \text{ А}$ ,  $I_e=65,3 \text{ А}$ ,  $I_{вн}=350 \text{ А}$ )

Для СП-9 типа ПР-2-60 ( $I_{ПУСК}=51,6 \text{ А}$ ,  $I_e=8,6 \text{ А}$ ,  $I_{вн}=15 \text{ А}$ ) и ПР-2-200 ( $I_{ПУСК}=132,5 \text{ А}$ ,  $I_e=26,5 \text{ А}$ ,  $I_{вн}=100 \text{ А}$ )

### **10.2.3 Выбор магнитных пускателей**

Выбраны магнитные пускатели

Для СП-1 типа ПМЛ11004 ( $I_{н.р}=10 \text{ А}$ ,  $I_p=2,1 \text{ А}$ )

Для СП-2 типа ПМЛ310044 ( $I_{н.р}=35 \text{ А}$ ,  $I_p=27,18 \text{ А}$ )

Для СП-3 типа ПМЛ11004 ( $I_{н.р}=10 \text{ А}$ ,  $I_p=8,6 \text{ А}$ )

Для СП-4 типа ПМЛ21004 ( $I_{н.р}=25 \text{ А}$ ,  $I_p=13,8 \text{ А}$ ), ПМЛ11004 ( $I_{н.р}=10 \text{ А}$ ,  $I_p=2,3 \text{ А}$ ) и ПМЛ51004 ( $I_{н.р}=80 \text{ А}$ ,  $I_p=65,3 \text{ А}$ )

Для СП-5 типа ПМЛ11004 ( $I_{н.р}=10 \text{ А}$ ,  $I_p=8,6 \text{ А}$ )

Для СП-6 типа ПМЛ21004 ( $I_{н.р}=25$  А,  $I_p = 10,3$  А), ПМЛ11004 ( $I_{н.р}=10$  А,  $I_p = 2,3$  А)

Для СП-7 типа ПМЛ31004 ( $I_{н.р}=40$  А,  $I_p = 27,2$  А), ПМЛ11004 ( $I_{н.р}=10$  А,  $I_p = 8,6$  А)

Для СП-8 типа ПМЛ11004 ( $I_{н.р}=10$  А,  $I_p = 2,3$  А) и ПМЛ51004 ( $I_{н.р}=80$  А,  $I_p = 65,3$  А)

Для СП-9 типа ПМЛ31004 ( $I_{н.р}=35$  А,  $I_p = 26,5$  А), ПМЛ11004 ( $I_{н.р}=10$  А,  $I_p = 8,6$  А).

#### **10.2.4 Выбор рубильников**

Выбраны рубильники

Для СП-1 типа Р31 ( $I_n=100$  А,  $I_p = 5,87$  А)

Для СП-2 типа Р32 ( $I_n=250$  А,  $I_p = 187$  А)

Для СП-3 типа Р31 ( $I_n=100$  А,  $I_p = 8,29$  А)

Для СП-4 типа Р31 ( $I_n=100$  А,  $I_p = 55,7$  А)

Для СП-5 типа Р31 ( $I_n=100$  А,  $I_p = 43,2$  А)

Для СП-6 типа Р31 ( $I_n=100$  А,  $I_p = 18,9$  А)

Для СП-7 типа Р31 ( $I_n=100$  А,  $I_p = 32,2$  А)

Для СП-8 типа Р31 ( $I_n=100$  А,  $I_p = 43,2$  А)

Для СП-9 типа Р31 ( $I_n=100$  А,  $I_p = 43,2$  А).



## **11 Опыт планирования ремонта электромагнитного оборудования на мясоперерабатывающем комбинате**

Энергоэффективность ремонта электромагнитного оборудования (РЭМО) - электродвигателей, трансформаторов и т.д. - на предприятии требует точного и оперативного планирования. От планирования РЭМО напрямую зависит, насколько экономичной окажется работа ремонтной службы.

Планирование РЭМО в первую очередь должно ответить на следующие вопросы:

1. Какое количество оборудования (электродвигателей) и каких его групп требуется (оρίζается) отремонтировать в течение определенного периода времени?

2. Каким должен быть объем резервного (обменного) фонда по этим группам для обеспечения ритмичной работы электрооборудования?

3. Какое количество материалов, и в первую очередь обмоточного провода, необходимо иметь для ремонта оборудования?

4. Какое количество времени и какое количество специалистов потребуется для реализации программы ремонта?

Правильные ответы на эти вопросы не только помогут сберечь время, но и обеспечат оптимальную загрузку ремонтного предприятия (участка) и его экономичную работу. Работа ремонтного участка во многом определяет ритмичную и надежную работу электрооборудования основного и вспомогательного производства. Тем самым планирование РЭМО представляет собой элемент политики энергосбережения завода.

Практика служб планово-предупредительных ремонтов (ППР) на мясоперерабатывающем комбинате показала, что ответы на вопросы, поставленные выше, возможно получить при помощи структурного подхода к энергетическому хозяйству, в рамках которого осуществляется

дифференцирование (деление) всего парка электромагнитного оборудования на группы. Работать с выделенными группами проще и удобнее по сравнению с недифференцированной массой оборудования. Критерии выделения групп в общем случае могут быть различными, однако практика ориентирует на формирование групп по ступеням мощности оборудования. Стабильность структуры парка двигателей и структура поступающих на ремонт двигателей с учетом критерия мощности позволяют использовать указанный выше подход для эффективности прогнозирования РЭМО.

РЭМО осуществляется отделом ОППР мясоперерабатывающего комбината. Технология ремонта принята индивидуальной в связи с наличием большого количества уникального электромагнитного оборудования.

Для составления плана РЭМО энергетикам цехов отправляется телефонограмма о предоставлении в ОППР информации: о количестве электродвигателей и их мощностях, в том числе резервных и импортных; о наличии и количестве трансформаторов, катушек, электромагнитных плит, муфт. (При разработке формы запроса определение границ групп электродвигателей по мощности осуществлялось на основании рекомендаций [24-27] и по стоимости ремонта электродвигателей на комбинате).

По данным за 2016 год для мясоперерабатывающего комбината составлены диаграммы по наличию электродвигателей и сравнительная диаграмма объема ремонта.

Диаграмма по наличию электродвигателей (рисунок 11.1) показывает, что на комбинате наибольшее количество занимают двигатели малой мощности – мощности от 0,41 кВт до 3 кВт, что связано со спецификой технологического процесса комбината.

Сравнительная диаграмма объема ремонта (ед.) в 2016 году против 2015 года представлена на рисунке 11.2. Из диаграммы видно, что в большем количестве ремонтируются двигатели, относящиеся к группам маломощных.

Так, в 2016 году отремонтировано 223 электродвигателя мощностью до 0.4 кВт, 123 электродвигателя в диапазоне от 1.1 до 3 кВт.

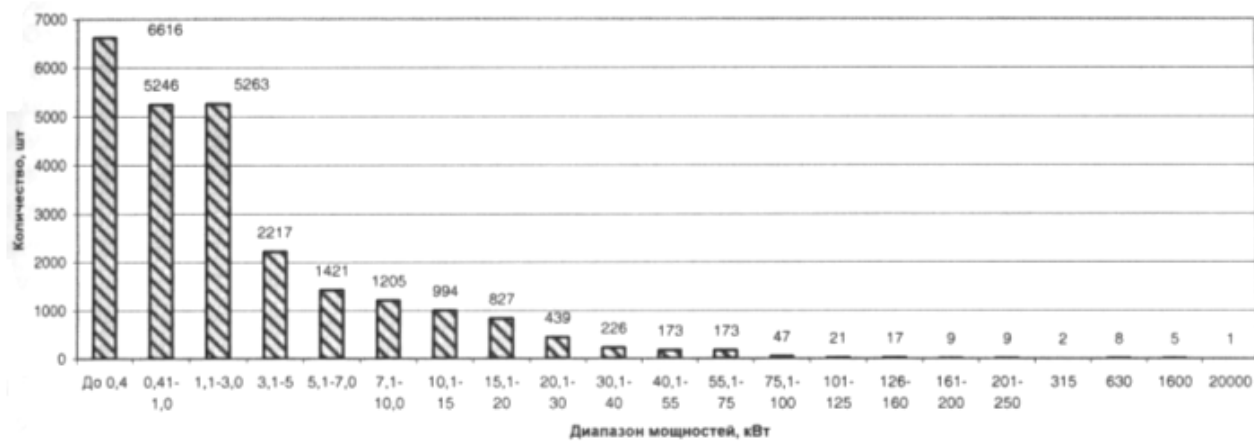
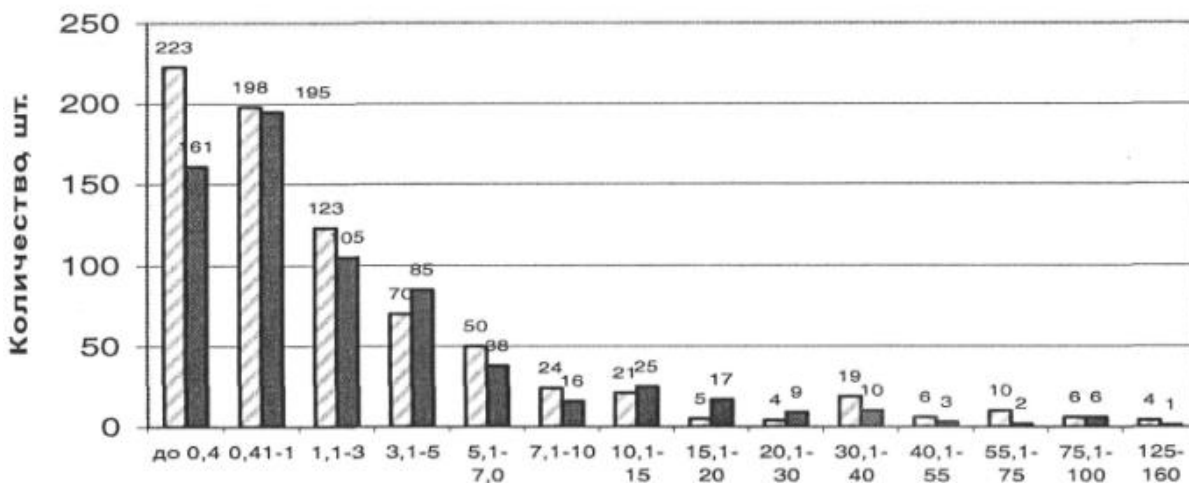


Рисунок 11.1 - Диаграмма по наличию электродвигателей на мясокомбинате



Диапазоны мощностей, кВт (белый цвет – 2015 г., черный – 2016 г.)

Рисунок 11.2 - Сравнительная диаграмма объема ремонта (ед.) в 2016 г. против 2015 г.

Доли отремонтированных двигателей в 2016 году от общего количества электродвигателей в соответствующих группах (диапазонах мощности) приведены на рисунке 11.3.

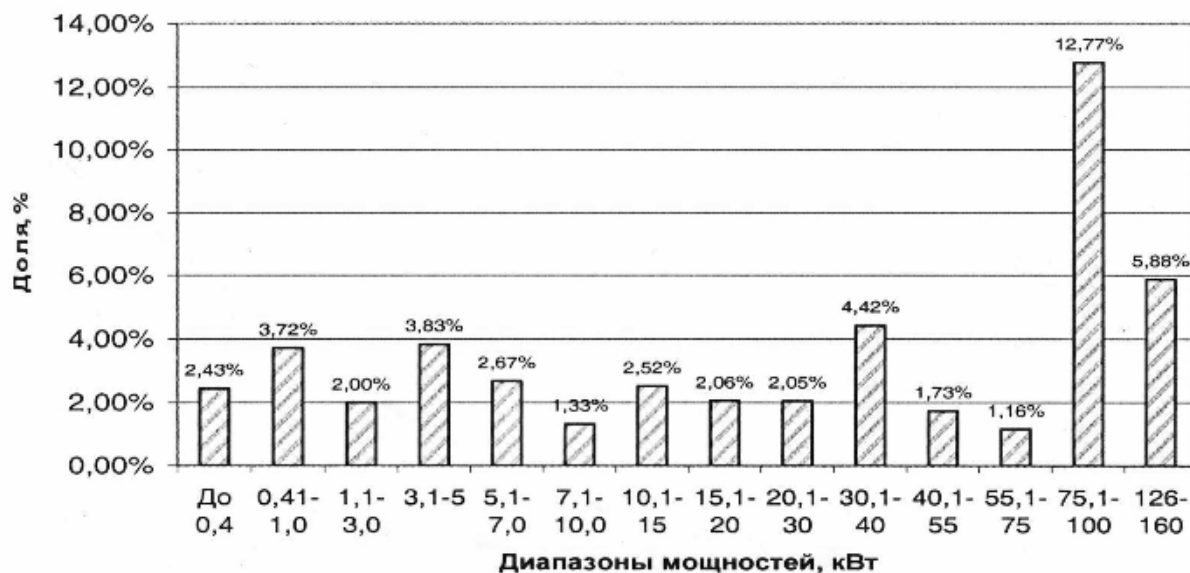


Рисунок 11.3 - Доли отремонтированных двигателей от общего количества электродвигателей в соответствующих группах (в диапазонах мощности)

Сведения о планируемом количестве электродвигателей соответствующих групп, предназначенных для ремонта, сводятся в таблицу с разбивкой на группы:

- группа электродвигателей для создания ремонтного фонда;
- количество обмоточного провода на соответствующую группу электродвигателей;
- количество нормчасов, необходимых для ремонта этих групп двигателей и др.

Количество электродвигателей, поступающих на ремонт, планируется на основании структуры ремонта двигателей по группам мощностей и их

количества по данным предыдущего года. Статистика свидетельствует, что указанная структура из года в год достаточно стабильна. Количество планируемых для ремонта электродвигателей составляет 673 единицы.

С учетом дополнительной информации о месте установки электродвигателей, средней продолжительности ремонта формируется резервный фонд электродвигателей.

Практика показывает, что ремонтный (обменный) фонд следует принять в объеме 50% от числа двигателей в первых четырех группах и в объеме 100% числа двигателей в последующих группах. Ремонтный (обменный) фонд составляют 402 электродвигателя.

На этапе годового планирования обмоточного материала закрытый обдуваемый асинхронный двигатель серии 4А с синхронными оборотами  $1500 \text{ мин}^{-1}$  может быть принят в качестве типичного представителя соответствующей группы. Общее количество меди для ремонта группы электродвигателей получается умножением массы обмотки для среднего двигателя в группе на количество двигателей в группе. Планируемый годовой объем меди, как правило, корректируется по итогам работы участка в квартале.

Ранжирование групп электродвигателей по количеству используемого обмоточного провода представлено на рисунке 11.4. Годовой объем обмоточного провода составил в 2016 году 791,42кг.

Рабочее время в нормочасах для ремонта среднего двигателя из группы определяется на основании рекомендаций [25]. Общее количество нормочасов на ремонт одной группы определяется умножением нормочасов, необходимых для ремонта одного электродвигателя, на количество электродвигателей в группе.

Ранжирование групп электродвигателей по трудозатратам на ремонт показано на рисунке 11.5.

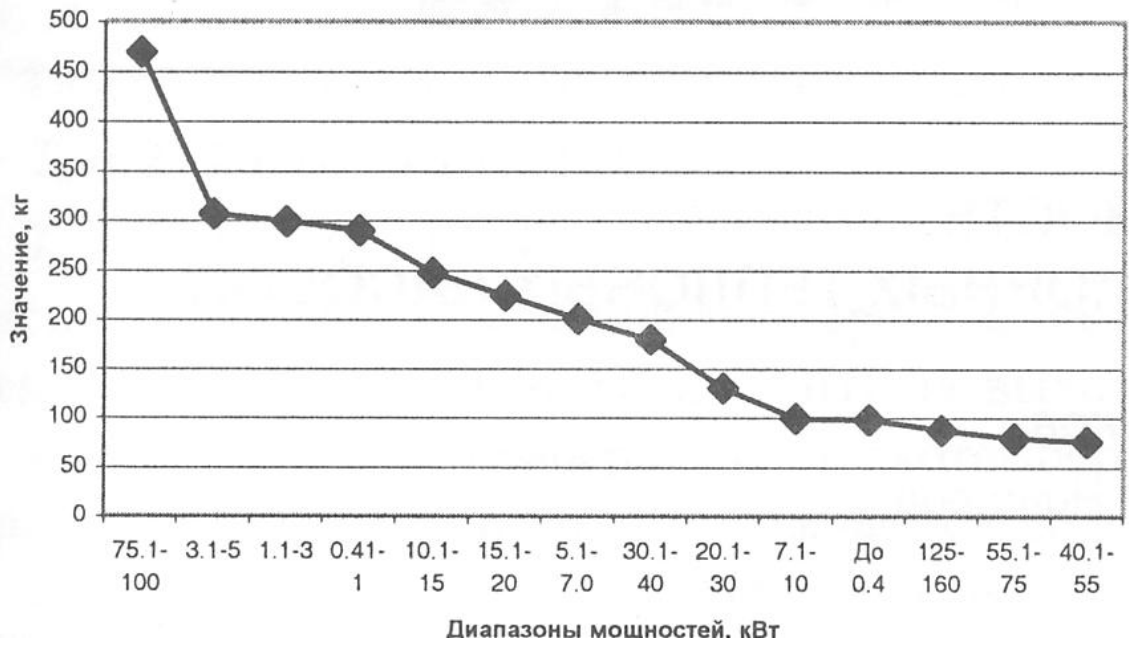


Рисунок 11.4 - Ранжирование групп электродвигателей по количеству используемого обмоточного провода

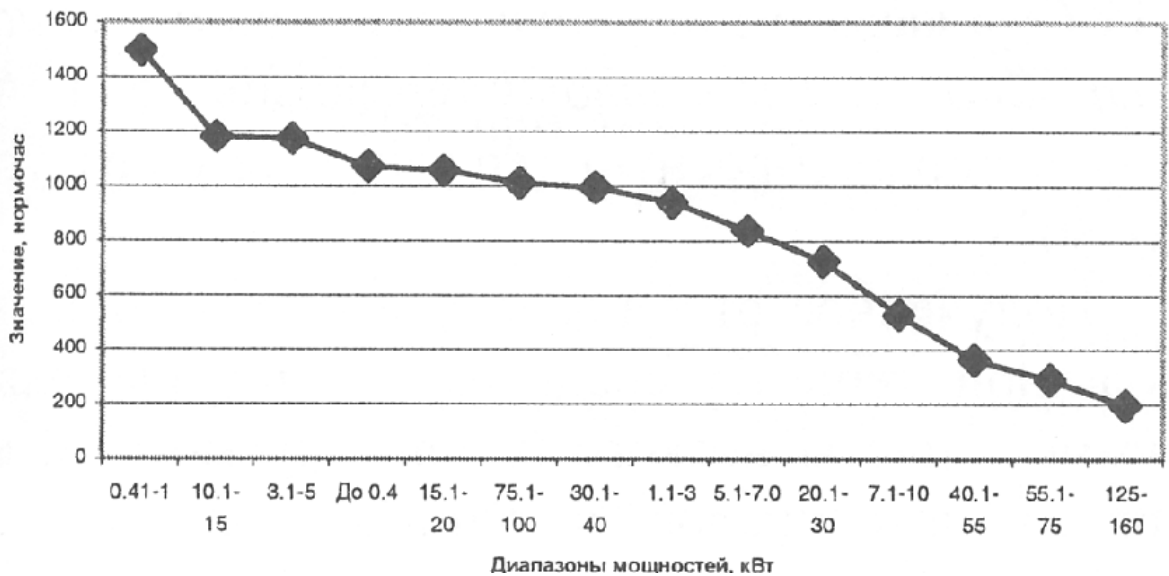


Рисунок 11.5 - Ранжирование групп электродвигателей по трудозатратам на ремонт

Годовой объем времени на ремонт электродвигателей составил 0,52 тыс. нормочасов. Фонд рабочего времени на одного работника 1801 час. Тогда число работников, участвующих в ремонте электродвигателей, будет  $0,52 : 1801 \sim 4$  чел.

Кроме ремонта электродвигателей, РЭМО включает ремонт трансформаторов и другого электрооборудования мясокомбината, причем трудозатраты определяются как по категории ремонтосложности в соответствии с [25], так и по данным хронометража.

Ниже приведены примеры (результаты) определения трудозатрат на ремонт.

1. Расчет трудоемкости ремонтных работ при категории ремонтосложности (КРС) трансформатора мощностью 100 кВ·А составляет 24 КРС. Норматив времени на 1 КРС трансформатора составляет 15ч.

Итого:  $24 \cdot 15 = 360$  ч.

2. Пример хронометража ремонта трансформатора ТМ-630/10/0,4 представлен ниже для ТП1:

Изготовление каркаса для намотки катушки (имитация сердечника магнитопровода), из дерева 3 шт.-72 ч.

Изготовление крепежных шпилек ( $L = 500$  мм из латуни,  $d=16$  мм - 3 шт.)

Настройка намоточного станка на два провода 15ч.

Балансировка вручную катушек трансформатора с двух сторон- 16 ч.

Промывка старой обмотки от масла бензином - 17 ч.

Снятие обмоточных данных трансформатора, составление схемы - 57 ч.

Разделка выводных концов обмотки вручную - 24 ч.

Ремонт магнитопровода от ожогов КЗ - 82 ч.

Периодические испытания катушки напряжением 12В-8ч.

Ремонт выводов и переключателя (устранение трещин изоляции путем армирования) - 27 час.

Итого - 326 часов.

Примеры показывают, что нормирование трудоемкости РЭМО представляет собой в некоторых случаях творческую задачу.

Выводы:

1. Структурный подход, используемый для планирования ремонта электромагнитного оборудования на мясоперерабатывающем комбинате, достаточно прост, поскольку базируется на легко получаемых статистических данных; универсален, поскольку позволяет ответить с единых позиций на ряд практических вопросов, возникающих при планировании ремонта электромагнитного оборудования; гибок, поскольку позволяет осуществить планирование ремонта, как по всему парку оборудования, так и по его группам (частям).

2. Устойчивость структуры электрооборудования позволяет выделять группы оборудования для гибкого планирования ремонта и получить ответы на вопросы о количестве ремонтируемого оборудования, о количестве резервного (обменного) фонда, о необходимом количестве обмоточного провода, о количестве нормочасов для ремонта этого оборудования.

3. Расчеты, связанные с планированием ремонта электромагнитного оборудования, и их анализ удобно производить при помощи доступного широкому кругу пользователей программного обеспечения MS Excel.



## 12 Безопасность и экологичность проекта. Пример расчета защитного заземления ТП1

Для расчета заземления ТП1 10/0,4 кВ заданы следующие исходные данные, которые приведены в таблице 12.1 [2,4].

Таблица 12.1 – Исходные данные

Параметр	Значение
Периметр	2(56+21)
Климатическая зона	II
Удельное сопротивление грунта	200 Ом·м
Ток заземления $I_z$	22 А
Поправочные коэффициенты	$\eta_B = 0,48;$ $n_\Gamma = 0,3$

Расчет заземления подстанции ТП выполнен по рекомендациям [2], приведен в таблице 12.2.

Таблица 12.2 – Расчет заземления ТП

Вид заземлителя	Расчетная формула	Значение
Вертикальный электрод	$N_B$	14 шт.
	$R_{p\text{вдоп}}$	4 Ом
	$R_B = \frac{0,16 \left( \ln \frac{2l}{h} + \frac{1}{2} \ln \frac{4h+l}{4h-l} \right)}{\frac{\Delta l_1}{\rho_1} + \frac{\Delta l_2}{\rho_2}}$	33,7 Ом
Горизонтальная полоса	$R_\Gamma = \frac{0,16 \rho_1}{l} \cdot \ln \frac{2l^2}{h \cdot b}$	23,3 Ом

Продолжение таблицы 12.2

Вид заземлителя	Расчетная формула	Значение
Вертикальный электрод с учетом горизонтальной полосы	$N_{в.уточн} = \frac{R_{в}}{R_{здоп} \cdot \eta_{в}}$	22 шт.
	$R'_{зв} = \frac{R_{зг} \cdot R_{здоп}}{R_{зг} - R_{здоп}}$	3,34 Ом
	$N_{в.с уч.гор} = \frac{R_{г}}{R'_{зв} \cdot \eta_{г}} =$	20 шт.

## **13 Экономическая эффективность проекта**

### **13.1 Инвестиции в схему электроснабжения мясоперерабатывающего комбината**

Для технико-экономического обоснования выбора схемы электроснабжения мясоперерабатывающего комбината рассчитаем инвестиции в схему электроснабжения [9,12,20].

#### **Инвестиции в КЛ 10 кВ**

КЛ1 АПВП(3х50) – 52,98 тыс. руб.

КЛ2 АПВП(3х50) – 32,26 тыс. руб.

КЛ3 АПВП(3х50) – 55,62 тыс. руб.

КЛ4 АПВП(3х50) – 40,72 тыс. руб.

КЛ5 АПВП(3х50) – 43,51 тыс. руб.

КЛ6 АПВП(3х50) – 54,45 тыс. руб.

КЛ7 АПВП(3х50) – 67,14 тыс. руб.

КЛ8 АПВБб(4х50) – 8,92 тыс.руб.

КЛ9 АПВБб(4х16) – 5,66 тыс. руб.

КЛ10 АПВБб(4х16) – 2,86 тыс.руб.

КЛ11 АПВБб(4х120) – 1,41 тыс. руб.

КЛ12 АПВБб(4х120) – 1,21 тыс. руб.

КЛ13 АПВБб(4х35) – 3,32 тыс. руб.

КЛ14 АПВБб(4х35) – 3,12 тыс. руб.

КЛ15 АПВБб(4х95) – 5,15 тыс. руб.

КЛ16 АПВБб(4х180) – 8, 28 тыс. руб.

КЛ17 АПВБб(4х50) – 12 тыс руб.

#### **Инвестиции в ТП мясоперерабатывающего комбината**

ТП-1 2х630 кВА – 396 тыс. руб.

ТП-2 2x1000 кВА– 633 тыс.руб.

ТП-3 2x400 – 287 тыс. руб.

ТП-4 2x400 – 287 тыс. руб.

ТП-5 2x630 – 396 тыс. руб.

ТП-6 2x630– 396 тыс. руб.

ТП-7 2x630– 396 тыс. руб.

ТП-8 2x630– 396 тыс. руб.

ТП-9 2x400 – 287 тыс. руб.

Инвестиции в КЛ 0,4 кВ

Суммарные инвестиции в КЛ 0,4 кВ – 5120 тыс.руб.

Суммарные инвестиции в схему электроснабжения сведены в таблицу 13.1.

Таблица 13.1 - Суммарные инвестиции в схему электроснабжения

Элемент схемы электроснабжения	Обозначение	Инвестиции суммарные
КЛ 10 кВ	$K_{КЛ10}$	763,3 тыс. руб.
ТП	$K_{ТП}$	3430 тыс. руб.
КЛ 0,4 кВ	$K_{КЛ0,4}$	5120 тыс. руб.
Итого	$K_{\Sigma}$	9313,3 тыс. руб.

### **13.2 Эксплуатационные расходы в схему электроснабжения мясоперерабатывающего комбината**

Потери электроэнергии в элементах системы электроснабжения мясокомбината:

$$\Delta W_{KL10} = 33046 \text{ кВт} \cdot \text{час}$$

$$\Delta W_{ТП} = 782362 \text{ кВт} \cdot \text{час}$$

$$\Delta W_{KL0,4} = 382326 \text{ кВт} \cdot \text{час}$$

Стоимость потерь электроэнергии:

$$I_{wKK10} = 45,79 \text{ тыс.руб}$$

$$I_{wTT} = 443,14 \text{ тыс.руб}$$

$$I_{wKK0,4} = 321,6 \text{ тыс.руб}$$

Суммарные эксплуатационные расходы на схему электроснабжения мясоперерабатывающего комбината складываются из амортизационных отчислений и стоимости потерь электроэнергии:

$$I_{\Sigma} = I_{aKL10} + I_{aТП} + I_{aKL0,4} + I_{wKK10} + I_{wTT} + I_{wKL0,4}$$

$$I_{\Sigma} = 7,63 + 5,12 + 9,31 + 45,76 + 443,14 + 321,6 = 832,56 \text{ тыс.руб.}$$

### 13.3 Приведенные затраты в схему электроснабжения мясоперерабатывающего комбината

$$З = \varepsilon \cdot K_{\Sigma} + И_{\text{э}},$$

где  $\varepsilon$  - коэффициент нормативных отчислений.

$$З = 0,15 \cdot 9313,3 + 832,56 = 2229,55 \text{ тыс.руб.}$$

## Заключение

В работе разработана схема электроснабжения мясоперерабатывающего комбината ООО «Бекон», расположенного в п. Смышляевский Волжского района Самарской области.

На основании анализа схемы внешнего электроснабжения, электроприемников мясоперерабатывающего комбината:

- выполнен расчет электрических нагрузок мясоперерабатывающего комбината;

- выбраны число и мощности ТП комбината: к установке принято девять двухтрансформаторных ТП с трансформаторами типа ТМ-1000, ТМ-630 и ТМ-400;

- выбрана схема электроснабжения: электрическая сеть 0,4 кВ мясоперерабатывающего комбината выполнена по радиальной схеме кабельными линиями;

- выполнен предварительный расчет и выбор сечений питающих КЛ 10 кВ и КЛ распределительной сети 10 кВ и 0,4 кВ: питающая сеть 10 кВ выполнена кабелями типа АПвПг, распределительная сеть 10 кВ – типа АПвП и АПвБб, распределительная сеть 0,4 кВ кабелями марки типа АВВГ;

- выполнен расчет токов КЗ;

- выполнен выбор коммутационного электрооборудования 10 кВ и 0,4 кВ схемы электроснабжения мясоперерабатывающего комбината;

- рассмотрен вопрос опыта планирования ремонта электромагнитного оборудования на мясоперерабатывающем комбинате;

- рассчитано заземление ТП.

- рассчитаны приведенные затраты в схему электроснабжения мясоперерабатывающего комбината ООО «Бекон».

## Список использованных источников

1. Правила устройства электроустановок. 7-е издание. -СПб.: Энерготомиздат, 2009.
2. Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок. Приложение к приказу Министерства труда и социальной защиты от 24 июля 2013 г. № 328н.
3. РТМ 36.18.32.4-92. Указания по определению электрических нагрузок. – М.: Изд-во ВНИИПИ Тяжпромэлектропроект, 1992.
4. СТО 56947007-29.240.10.028-2009. Нормы технологического проектирования подстанций переменного тока с высшим напряжением 35-750 кВ (НТП ПС) - М. : Минэнерго, 2010.
5. ГОСТ Р 52427-2005 Национальный стандарт Ф. Промышленность мясная. Продукты пищевые. Термины и определения. – М.: Издательство стандартов, 2006.
6. ГОСТ Р 52735-2007. Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением свыше 1 кВ. – М.: Издательство стандартов, 2007.
7. ГОСТ 28249 – 93. Короткие замыкания в электроустановках переменного напряжения до 1 кВ. - М.: Издательство межгосударственных стандартов, 1994.
8. Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2002.
9. Алиев, И.И. Электротехнические материалы и кабельные изделия: справочник. – 3-е изд. - М.: ИП РадиоСОФТ, 2014.
10. Вахнина, В.В. Проектирование систем электроснабжения промышленных предприятий: учебное пособие для курсового проектирования / В.В. Вахнина, А.Н.Черненко. - Тольятти: ТГУ, 2016.



11. Вахнина, В.В. Компенсация реактивной мощности в системах электроснабжения промышленных предприятий: учебное пособие / В.В. Вахнина. - Тольятти: ТГУ, 2015.
12. Выбор и применение низковольтных электрических аппаратов распределения, управления и автоматики / Под ред. Е.Г. Акимова и Ю.С. Коробкова. – М.: Издательский дом МЭИ, 2014.
13. Кудрин, Б.И. Электроснабжение : учебник для студ. учреждений высш. проф. образ. / Б.И. Кудрин. – М.: Изд. центр «Академия», 2012.
14. Кудрин, Б.И. Электроснабжение потребителей и режимы / Б.И. Кудрин, Б.В. Жилин, Ю.В. Матюнина. – М.: Изд. дом МЭИ, 2013.
15. Киреева, Э.А. Электрооборудование электрических станций и подстанций: учеб. пособие / Э.А. Киреева. - М.: КНОРУС, 2017.
16. Киреева, Э.А. Полный справочник по электрооборудованию и электроснабжению (с примерами расчетов) / Э.А. Киреева, С.В. Верстнев; под общ. ред. С.Н. Шерстнева. – 3-е изд. – М.: КНОРУС, 2017.
17. Справочник по энергоснабжению и электрооборудованию предприятий и общественных зданий / Под общ.ред. С.И. Гамазина, Б.И. Кудина, С.А. Цырука С.А. – М.: Издательский дом МЭИ, 2014.
18. Шеховцов, В.П. Расчет и проектирование схем электроснабжения: методическое пособие для курсового проектирования / В.П. Шеховцов. - М.: Форум, 2013.
19. Электроснабжение промышленных предприятий и установок : учебное пособие / Ю.Д. Сибикин, М.Ю. Сибикин, В.А. Яцков. – 3-е изд. – М.: ФОРМУС; ИНФРА-М, 2015.
20. Электрооборудование электрических станций и подстанций / Л.Д.Рожкова, Л.К.Карнеева, Т.В.Чиркова. – М.: Изд. центр «Академия», 2014.
21. Каталог ЭЛЕКТРОПРОМ. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://electro-prom.com> (08.05.17).

22. Каталог продукции Камкабель. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://kamkabel.ru/katalog.php> (08.05.17).
23. Каталог продукции АЛКАТЕЛ. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.alcatel-lucent.com/products> (08.09.17).
24. Adeen, L. Update on OLTC Dynamic Resistance Measurement Methodology – Testing Experience / L. Adeen, B. Diggin, G. Milojevic // EuroDoble Colloquium, Stockholm, 2011.
25. CIE Pub. №115. Recommendations for electrical circuits for motors, 2014.
26. U.S. Department of Energy, Energy Administration // Annual Energy Outlook 2009. – U.S. Energy Administration, Washington, 2009.
27. U.S. Department of Energy, Energy Administration // Annual Energy Outlook 2009. DOE/EIA, Washington, DC, 2009.