

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 Электроснабжение обособленного, производственного подразделения предприятия по добычи нефти и газа

Студент

В.С. Заика

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., О.В. Самолина

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Консультант

к.п.н., доцент А.В. Кириллова

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

## Аннотация

В ВКР рассмотрено проектирование системы электроснабжения (СЭС) производства СЦ «КогалымЭнергоНефть» ООО «ЛУКОЙЛ-ЭНЕРГОСЕТИ». ВКР включает в себя пояснительную записку на 68 листах А4, 10 таблиц, 6 рисунков. Работа структурно включает в себя введение, девять разделов основной части, заключение и список из 24 источников литературы, в том числе 5 источников на иностранном языке и графической части на 6 листах формата А1.

Целью выпускной квалификационной работы является обеспечение надежной системы электроснабжения такой важной отрасли как нефтедобыча. Для достижения цели поставлены и решены задач ВКР.

Ключевым вопросом ВКР является проектирование СЭС производства СЦ «КогалымЭнергоНефть» ООО «ЛУКОЙЛ-ЭНЕРГОСЕТИ». Затронута проблема электроснабжения производства предприятия с выбором современного оборудования, а также светодиодного энергоэффективного освещения.

## **Annotation**

The final qualifying work considered the design of a power supply system (SPP) produced by the SC "KogalymEnergoNeft" LLC "LUKOIL-ENERGOSETI". The final qualifying work includes an explanatory note on 68 A4 sheets, 10 tables, 6 figures. The work structurally includes an introduction, nine chapters of the main part, a conclusion and a list of 24 sources of literature, including 5 sources in a foreign language and a graphic part on 6 sheets of A1 format. The key issue of the final qualifying work is the design of a power plant produced by the SC "KogalymEnergoNeft" LLC "LUKOIL-ENERGOSETI". The problem of oversight of the production of the enterprise with the choice of modern equipment, as well as LED energy-efficient lighting is touched upon. The purpose of the work is to design a power supply system for a separate production block of an oil and gas production enterprise - the production of the Service Center "KogalymEnergoNeft", LLC "LUKOIL-ENERGOSETI".

In the Final Qualification Work, the power supply system was designed for the production of SC "KogalymEnergoNeft" LLC "LUKOIL-ENERGOSETI".

## Содержание

Введение.....	5
1 Обоснование актуальности разрабатываемой темы. Краткая характеристика объекта проектирования.....	6
2 Расчет ожидаемых электрических нагрузок на стороне 0,4 кВ и высокого напряжения, освещение.....	10
3 Выбор трансформаторных подстанций с учетом компенсации реактивной мощности.....	25
4 Выбор и обоснование схемы электроснабжения.....	30
5 Расчет токов короткого замыкания.....	32
6 Расчет и выбор электрооборудования и проводников.....	34
6.1 Выбор автоматических выключателей.....	34
6.2 Выбор кабельных линий.....	37
6.3 Расчет внешнего электроснабжения производства.....	38
7 Расчет релейной защиты и автоматики.....	47
7.1 Расчёт РЗ кабеля от КТП до РП-1.....	46
7.2 Расчёт РЗ сборных шин 0,4 кВ.....	50
7.3 Расчёт РЗ трансформатора на стороне 0,4 кВ.....	51
7.4 РЗ трансформатора.....	54
7.5 РЗ питающей кабельной линии.....	56
8 Расчет заземления производства.....	61
9 Молниезащита здания производства.....	64
Заключение.....	65
Список используемых источников.....	67

## Введение

Одной из важнейших сфер народного хозяйства является электроэнергетика. В связи с развитием различных производств, внедрением передовых технологий происходит постоянное увеличение потребляемой электроэнергии технологическим электрооборудованием [4].

Объект исследования – система электроснабжения производства СЦ «КогалымЭнергоНефть» ООО «ЛУКОЙЛ-ЭНЕРГОСЕТИ».

Предмет исследования – поиск оптимальных подходов в процессе проектирования системы электроснабжения и электрообеспечения производства СЦ «КогалымЭнергоНефть» ООО «ЛУКОЙЛ-ЭНЕРГОСЕТИ».

Цель работы – спроектировать систему электроснабжения обособленного, производственного подразделения предприятия по добычи нефти и газа - производства СЦ «КогалымЭнергоНефть» ООО «ЛУКОЙЛ-ЭНЕРГОСЕТИ».

В соответствии с поставленной целью определены следующие задачи:

- обосновать актуальность разрабатываемой темы и привести краткую характеристику рассматриваемого производства;
- рассчитать ожидаемые нагрузки на стороне 0,4 кВ и на высоком напряжении, рассчитать систему освещения рассматриваемого производства;
- выбрать КТП с учетом компенсации реактивной мощности;
- выбрать схему электроснабжения;
- рассчитать токи КЗ;
- выбрать электрическое оборудование и проводники;
- рассчитать РЗиА;
- рассчитать заземление производства;
- рассчитать молниезащиту здания производства.

## **1 Обоснование актуальности разрабатываемой темы. Краткая характеристика объекта проектирования**

Рассматриваемое производство СЦ «КогалымЭнергоНефть» ООО «ЛУКОЙЛ-ЭНЕРГОСЕТИ» предназначено для изготовления различных деталей, необходимых в процессе исполнения своих прямых обязательств по договорам. Также на производства выполняются ремонтные работы различного оборудования, которым располагает компания. Производство будет построен в Нижнем Тагиле. Необходимость строительства данного производства возникла в связи с расширением деятельности. Для данных целей на производстве установлены различные станки, перечень которых представлен в таблице 1.1.

В ремонтном участке располагается все основное оборудование производства и там осуществляются все виды работ, которые выполняет производство. На токарно-шлифовальных, фрезерных, агрегатно-расточных и радиально-сверлильных станках выполняются работы по обработке металлических изделий, как существующих, при их поломке, так и различных заготовок для изготовления требуемого изделия. Сварочные работы выполняются на сварочных аппаратах. Мостовой кран предназначен для перемещения тяжелых заготовок и готовых деталей по территории производства.

Все остальные помещения производства являются вспомогательными. Некоторые из них предназначены для хранения оборудования и материалов, а также разного инструмента – это складское помещение и инвентарная. В остальных помещениях работают сотрудники производства: в кабинете мастера – мастер производства, в комнате для персонала – работники производства, в офисе – бухгалтера и инженер.

Для обеспечения вентиляции производства запроектирована установка приточной и вытяжной вентиляции. Сами вентиляторы расположены в вентиляционной.

Для электроснабжения производства предусматривается установка трансформаторной подстанции в соответствующем помещении. Трансформаторная подстанция подключается от ГПП предприятия. Расстояние от ГПП предприятия до производства СЦ «КогалымЭнергоНефть» ООО «ЛУКОЙЛ-ЭНЕРГОСЕТИ» составляет 1,5 км.

К нормальным помещениям относятся помещения, окружающая среда которых не оказывает вредного воздействия на основное технологическое оборудование производства. В исследуемом производстве к данному типу помещений относятся все помещения, кроме ремонтного участка. Ремонтный участок относится к пыльным помещениям.

Производственные помещения по условиям взрыво- и пожароопасности подразделяются на группы:

- взрывоопасные помещения. Все помещения производства, за исключением КТП, относятся к невзрывоопасным помещениям.

- пожароопасными называют помещения, в которых используются или хранят горючие вещества. Согласно [19] категории помещений Г и Д относятся к неопасным по возможности возникновения взрывов и пожаров. Все помещения производства, за исключением трансформаторной подстанции, относятся к категории Д.

Трансформаторной подстанция относится по взрывопожарной и пожарной опасности, согласно [19] к категории помещений В4.

По степени опасности поражения людей электротоком ТП производства относится к помещениям с повышенной опасностью. Все остальные помещения производства относятся к помещениям без повышенной опасности. План производства СЦ «КогалымЭнергоНефть» ООО «ЛУКОЙЛ-ЭНЕРГОСЕТИ» представлен в графической части ВКР.

Электрооборудование, устанавливаемое на производства СЦ «КогалымЭнергоНефть» ООО «ЛУКОЙЛ-ЭНЕРГОСЕТИ» представлено в таблице 1.

Таблица 1 - Перечень электрооборудования производства СЦ «Когалым-ЭнергоНефть» ООО «ЛУКОЙЛ-ЭНЕРГОСЕТИ»

Номер на плане	Наименование электрооборудования	Кол.	P <sub>н</sub> , кВт	cosφ
1, 2, 3, 4, 5	Токарно-шлифовальные станки	5	105	0,65
6, 16, 18, 19, 20	Сварочные аппараты	5	94,5	0,65
17	Кран мостовой ПВ 84 кВА, cosφ = 0,5	1	42	0,5
21, 22, 23, 29, 30, 31	Фрезерные станки	6	73,5	0,65
24...28, 34, 35, 36	Агрегатно-расточные станки	8	38,64	0,65
7...15	Радиально-сверлильные станки	9	21	0,65
32	Система вытяжной вентиляции	1	37,8	0,8
33	Система приточной вентиляции	1	42	0,8
Итого		36	2058,4	

Токарно-шлифовальные станки предназначены для заточки и доводки слесарных и столярных инструментов, металлических деталей и изделий. Один станок может применяться для шлифования, заточки и зачистки инструментов, деталей или изделий.

Сварочные аппараты предназначены для сварки различных деталей, которые производятся на производстве или из которых состоят какие-то более крупные выпускаемые изделия.

Кран мостовой предназначен для перемещения тяжелых изделий по территории производства.

Фрезерные станки предназначены для обработки различных металлических изделий вращающейся фрезой при поступательном перемещении заготовки. Фрезерные станки применяются для обработки плоских и фасонных поверхностей с прямыми и винтовыми образующими.

Агрегатно-расточные станки предназначены для обработки деталей, которые имеют объемные формы. Технические характеристики агрегатных станков дают возможность использовать их для выполнения таких задач, как сверление, нарезание резьбы, фрезерование и множества других работ, которые связаны с токарной обработкой заготовок.



Радиально-сверлильные станки предназначены для обработки единичных отверстий или отверстий, которые располагаются группами, на крупногабаритных и тяжелых заготовках.

Система вытяжной вентиляции предназначена для отвода загрязненного воздуха из помещения рассматриваемого производства.

Система приточной вентиляции предназначена для обеспечения поступления свежего воздуха в помещение рассматриваемого производства.

Вывод.

Обоснована актуальность разрабатываемой темы и представлена краткая характеристика объекта проектирования - производства СЦ «Когалым-ЭнергоНефть» ООО «ЛУКОЙЛ-ЭНЕРГОСЕТИ». Дан перечень электрооборудования производства СЦ «Когалым-ЭнергоНефть» ООО «ЛУКОЙЛ-ЭНЕРГОСЕТИ».

## 2 Расчет ожидаемых электрических нагрузок на стороне 0,4 кВ и высокого напряжения, освещение

Подробно рассматривается расчет нагрузок в РП-1. От этого РП запитаны девять электроприемников (ЭП) общей номинальной мощностью 441 кВт.

Рассчитываются ЭН в отделениях. Характеристики оборудования определяются из справочной литературы [17]. Зная  $\cos\varphi$ , определяется  $\operatorname{tg}\varphi$ .

Далее для каждой группы однотипных ЭП находится средняя ЭН [22]:

$$P_c = n \cdot K_{\text{ИА}} \cdot P_{\text{НОМ}}; \quad (1)$$

$$Q_c = P_c \cdot \operatorname{tg}\varphi, \quad (2)$$

где  $P_{\text{НОМ}}$  – номинальная мощность ЭП, кВт.

$n$  – число однотипных ЭП подключенных к РП-1.

Для токарно-шлифовального станка  $P_{\text{НОМ}} = 105$  кВт,  $n = 3$ ,  $K_{\text{ИА}} = 0,2$ ,  $\cos\varphi = 0,65$ :

$$\operatorname{tg}\varphi = \operatorname{tg}(\operatorname{acos}(\cos\varphi));$$

$$\operatorname{tg}\varphi = \operatorname{tg}(\operatorname{acos}(0,65)) = 1,17;$$

$$P_c = 3 \cdot 0,2 \cdot 105 = 63,0 \text{ кВт};$$

$$Q_c = 63,0 \cdot 1,17 = 73,7 \text{ квар.}$$

Аналогично выполняются расчеты ЭН других отделений, результаты расчета сведены в таблицу 1.

Определяется эффективное число ЭП [22]:

$$P_{\text{нmax}} / P_{\text{нmin}} = 15 / 1,5 = 10 > 3, \text{ принимается}$$

$$n_{\text{Э}} = \frac{\sum P_{\text{НОМ}i}^2}{\sum (n_i \cdot P_{\text{НОМ}i}^2)}; \quad (3)$$

$$n_{\text{Э}} = \frac{441^2}{35721} = 5.$$

Далее необходимо вычислить коэффициент использования по РП-1 [22]:

$$K_{\text{ИА}} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{Ci}}{\sum_{i=1}^n P_{\text{НОМ}i}}, \quad (4)$$

$$K_{\text{ИА}} = \frac{88,2}{441} = 0,20.$$

Коэффициент мощности:

$$\text{tg}\phi = \frac{\sum_{i=1}^n Q_{Ci}}{\sum_{i=1}^n P_{Ci}}, \quad (5)$$

$$\text{tg}\phi = \frac{103,1}{88,2} = 1,17.$$

Исходя из чего определяется значение  $\cos\phi$ :

$$\cos\phi = \cos(\text{arctg}(\text{tg}\phi));$$

$$\cos\phi = \cos(\text{arctg}(1,17)) = 0,65.$$

Согласно [22] расчетные мощности:

$$P_{\text{P}} = K_{\text{P}} \cdot \sum_{i=1}^n P_{Ci}, \quad (6)$$

где  $K_p$  – коэффициент,  $K_p = f(n_{\text{Э}}, K_{\text{ИА}})$ .

Реактивная мощность определяется по одной из формул:

$$\text{если } n_{\text{Э}} \leq 10, \text{ то } Q_p = 1,1 \cdot Q_c; \quad (7)$$

$$\text{если } n_{\text{Э}} > 10, \text{ то } Q_p = Q_c.$$

Полную расчетную ЭН вычисляем как:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}. \quad (8)$$

Значение расчетного тока:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}}, \quad (9)$$

где  $U_{\text{ном}}$  – номинальное напряжение, кВ.

Для РП-1 -  $K_p = 1,72$ , тогда

$$P_p = 1,72 \cdot 88,2 = 151,7 \text{ кВт};$$

$$Q_p = 1,1 \cdot 103,1 = 113,4 \text{ квар};$$

$$S_p = \sqrt{151,7^2 + 113,4^2} = 189,4 \text{ кВА}.$$

$$I_p = \frac{189,4}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 273,7 \text{ А}.$$

Аналогично определяются и ЭН остальных отделений, результаты расчета сведены в таблицу 2.

После определения ЭН по РП можно переходить к расчету нагрузок по производству.

Расчетные мощности вычисляются как:

$$P_p = K_p \cdot \Sigma P_{Ci}, \quad (10)$$

$$Q_p = K_p \cdot \Sigma Q_{Ci}. \quad (11)$$

Эффективное число ЭП производства

$$n_{\text{Э}} = \frac{2058,4^2}{153060} = 28;$$

значение коэффициента использования

$$K_{\text{ИА}} = \frac{442,3}{2058,4} = 0,21;$$

значение коэффициента мощности

$$\text{tg}\varphi = \frac{497,2}{442,3} = 1,12;$$

тогда  $\cos\varphi = 0,66$ .

$$K_p = f(n_{\text{Э}}, K_{\text{ИА}}) = 0,75.$$

$$P_p = 0,75 \cdot 442,3 = 331,8 \text{ кВт.}$$

$$Q_p = 0,75 \cdot 497,2 = 372,9 \text{ квар.}$$

Полная расчетная мощность силовой ЭН:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}; \quad (12)$$

$$S_p = \sqrt{331,8^2 + 372,9^2} = 499,1 \text{ кВА.}$$

Далее определяется ток:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}}}, \quad (13)$$
$$I_p = \frac{499,1}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 721,3 \text{ А.}$$

Расчет ЭН производства представлен в таблице 2.

План производства с указанием мест расположения распределительных пунктов и ТП представлен в графической части ВКР.

Расчет электрического освещения.

Система освещения должна соответствовать СП 52.13330.2011 [23].

Нормируемая освещенность помещений производства составляет:

- для комнаты мастера – 300 лк;
- для складского помещения – 75 лк;
- для остальных помещений производства – 200 лк.

Таблица 2 – Сводная таблица расчета ЭН производства

Наименование потребителя	$n_{\text{эп}}$	Номинальные мощности, кВт		$K_{\text{и}}$	$\cos\varphi/tg\varphi$	$P_{\text{ср}}$ , кВт	$Q_{\text{ср}}$ , кВАр	$n_{\text{э}}$	$K_{\text{р}}$	$P_{\text{р}}$ , кВт	$Q_{\text{р}}$ , кВАр	$S_{\text{р}}$ , кВА
		одного ЭП	общая									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Шкаф РП1												
Токарно-шлифовальные станки	3	105	315	0,2	0,65 / 1,17	63,0	73,7					
Радиально-сверлильные станки	6	21	126	0,2	0,65 / 1,17	25,2	29,5					
Всего по шкафу РП1	9		441	0,2	0,65 / 1,17	88,2	103,1	5	1,72	151,7	113,4	189,4
Шкаф РП2												
Шлифовальные станки	2	105	210	0,2	0,65 / 1,17	42,0	49,1					
Сварочные аппараты	2	94,5	189	0,2	0,65 / 1,17	37,8	44,2					
Радиально-сверлильные станки	3	21	63	0,2	0,65 / 1,17	12,6	14,7					
Всего по шкафу РП2	7		462	0,2	0,65/1,17	92,4	108,0	5	1,72	158,9	118,8	198,4
Шкаф РП3												
Кран мостовой	1	84 кВА	42	0,15	0,5	3,2	5,5					
Агрегатно-расточные станки	8	38,64	309,12	0,2	0,65/1,17	61,8	72,3					
Всего по шкафу РП3	9		351,12	0,19	0,64/1,20	65,0	77,7	9	1,37	89,0	85,5	123,4
Шкаф РП4												
Сварочные аппараты	3	94,5	283,5	0,2	0,65 / 1,17	56,7	66,3					
Фрезерные станки	6	73,5	441	0,2	0,65 / 1,17	88,2	103,1					
Система вытяжной вентиляции	1	37,8	37,8	0,65	0,8/0,75	24,6	18,4					
Система приточной вентиляции	1	42	42	0,65	0,8/0,75	27,3	20,5					
Всего по шкафу РП4	11		804,3	0,24	0,69/1,06	196,8	208,3	11	1,25	246,0	208,3	322,3
ИТОГО ПО ПРОИЗВОДСТВУ	36		2058,4	0,21	0,66/1,12	442,3	497,2	28	0,75	331,8	372,9	499,1
Освещение										7,5	2,5	7,9

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
ИТОГО ПО ПРОИЗВОДСТВУ с электроосвещением без КУ					0,78 / 0,81					339,3	375,4	507,0
Мощность КУ											-300	
ИТОГО ПО ПРОИЗВОДСТВУ на НН с КУ					0,98 / 0,22					339,3	75,4	347,5
Потери в трансформаторах с КУ										7	34,8	
ИТОГО ПО ПРОИЗВОДСТВУ на ВН с КУ										346,3	110,2	363,4



Для ремонтного участка, складского помещения, помещения КТП и вентиляционной применяются светодиодные светильники L-industry 115 фирмы LEDEL [17]. Внешний вид светильников представлен на рисунке 1.



Рисунок 1 - Внешний вид светильников L-industry 115

По ряду примененных решений у светильника L-industry 115 отсутствуют аналоги.

Литой корпус светильника выполнен из сплава алюминия. Система «канального» охлаждения позволила выполнить светильник в 2,5 раза меньше существующих аналогов по габаритам и массе.

В светильнике используется уникальная оптическая система, которая позволяет «на месте» выбирать необходимую диаграмму распределения светового потока (15°, 30°, 45°).

Светодиод OSRAM OSLOM Square имеет одни из лучших в настоящее время показателей по соотношению лм/Вт, сроку службы и надежности.

Высоту подвеса светильников необходимо вычислить по формуле:

$$H_p = h_{\text{пом}} - h_{\text{р.п.}} - h_c, \quad (14)$$

где  $h_{\text{пом}}$  – высота производства,  $h_{\text{пом}} = 9 \text{ м}$ ;

$h_{\text{р.п.}}$  – высота рабочей поверхности,  $h_{\text{р.п.}} = 0,8 \text{ м}$ ;

$h_c$  – высота свеса осветительного,  $h_c = 3,5 \text{ м}$ ;

$$H_p = 9 - 0,8 - 3,5 = 4,7 \text{ м.}$$

Во вспомогательных помещениях выбраны светильники L-office 25/3025/32/Д [17] (рисунок 2).

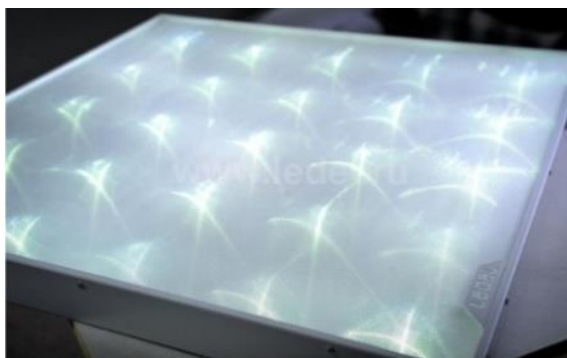


Рисунок 2 - Внешний вид светильников L-office 25/3025/32/Д

Расчетная высота подвеса:

$$H_p = 4,0 - 0,8 - 1,0 = 2,2 \text{ м.}$$

Выбор светильников для КТП.

В первую очередь определяется расстояние между светильниками:

$$L = \lambda_c \cdot H_p, \quad (15)$$

где  $\lambda_c$  – коэффициент,  $\lambda_c = 1,2 \dots 1,4$  [16], о.е.;

$$L = (1,2 \dots 1,4) \cdot 4,7 = 5,64 \dots 6,58 \approx 6 \text{ м.}$$

Далее необходимо вычислить количество рядов светильников:

$$R = A / L; \quad (16)$$

$$R = 6 / 6 = 1.$$

а затем, сколько светильников нужно установить в каждом ряду:

$$N_c = B / L; \quad (17)$$

$$N_c = 6 / 6 = 1.$$

На основании проведенных выше расчетов вычислим количество светильников в рассматриваемом помещении:

$$N = R \cdot N_c; \quad (18)$$

$$N = 1 \cdot 1 = 1 \text{ светильник.}$$

Индекса помещения [16]:

$$i = \frac{A \cdot B}{H_p \cdot (A + B)}, \quad (19)$$

где  $A$  и  $B$  – размеры помещений производства, м;

$$i = \frac{6 \cdot 6}{4,7 \cdot (6 + 6)} = 1,4.$$

Коэффициент использования помещения  $\eta_n$  находится с учетом

$$i = 0,9, r_n = 0,3, r_c = 0,1, r_p = 0,1$$

и КСС типа Д-2  $\eta_n = 71\%$  [16].

Коэффициент использования светового потока, о.е.

$$\eta = \eta_c \cdot \eta_n, \quad (20)$$

$$\eta = 0,53 \cdot 0,71 = 0,38.$$

Расчётное число светильников в рассматриваемом помещении:

$$N = \frac{E_n \cdot k_{\text{зап}} \cdot S \cdot z}{\Phi \cdot \eta}, \quad (21)$$

где  $E_n$  – минимальная освещённость [16], лк;

$k_{\text{зап}}$  – коэффициент запаса,  $k_{\text{зап}} = 1,5$  [16];

$S$  – площадь производства,  $\text{м}^2$ ,

$$S = A \cdot B; \quad (22)$$

$$S = 6 \cdot 6 = 36 \text{ м}^2.$$

$z$  – коэффициент,  $z = 1,1$  [16], о.е.;

$$N = \frac{150 \cdot 1,5 \cdot 1494 \cdot 1,1}{12070 \cdot 0,38} = 1,9 \text{ светильника.}$$

Принимаются 2 светильника.

Установленная мощность системы освещения

$$P'_{\text{уст}} = N \cdot P_{\text{л}}, \quad (23)$$

$$P'_{\text{уст}} = 2 \cdot 117 = 234 \text{ Вт.}$$

Реактивная нагрузка системы освещения

$$Q_p = P_p \cdot \text{tg} \varphi, \quad (24)$$

где  $\operatorname{tg} \varphi = \operatorname{tg}(\arccos \varphi)$ , о.е.,

$\cos \varphi$  – коэффициент активной мощности освещения, о.е.:

$$\cos \varphi = 0,95, \operatorname{tg} \varphi = 0,33.$$

$$Q_p = 234 \cdot 0,33 = 77 \text{ вар.}$$

Аналогично рассчитываются светильники в остальных помещениях. Результаты светотехнического расчета сведены в таблицу 3. Суммарная расчетная мощность освещения также учтена в таблице 2.

Выбор проводников для сети освещения.

Так мощность светильников ремонтного участка составляет 7146 ВА, рабочий ток составляет 10,3 А, то принимается кабель ВВГ-5х1,5 с  $I_{\text{дл.доп}} = 19$  А. Требуется проверить выбранный кабель на соответствие току расцепителя автомата, который защищает данную ЛЭП.

$$I_{\text{дл.доп}} = 19 \text{ А} > I_{\text{рас.ном}} = 16 \text{ А} - \text{верно.}$$

Таблица 3 - Результаты светотехнического расчета

Помещение производ-ства	Ен, лк	h, м	A, м	B, м	S, м <sup>2</sup>	i	η, о.е.	Φ, лм	Тип светильника	Φ <sub>ном</sub> , лм	N	P <sub>л</sub> , Вт	P <sub>уст</sub> , Вт	Q <sub>р</sub> , вар	S <sub>р</sub> , ВА
Ремонтный участок	200	4,7	48	36	1494	4,4	0,71	57,5	L-industry 115	12070	58	117	6786	2239	7146
Комната для персона-ла	150	2,2	6	6	36	1,4	0,54	1,4	L-office 25/3025/32/Д	3025	1	32	32	15	36
Офис	150	2,2	6	6	36	1,4	0,46	1,6	L-office 25/3025/32/Д	3025	2	32	64	31	71
Инвентарная	100	2,2	6	6	36	1,4	0,51	1,0	L-office 25/3025/32/Д	3025	1	32	32	15	36
Комната мастера	300	2,2	6	6	36	1,4	0,58	2,5	L-office 25/3025/32/Д	3025	3	32	96	46	107
Складское помещение	75	4,7	3	12	36	0,5	0,42	0,9	L-industry 115	12070	1	117	117	39	123
Трансформаторная подстанция	150	4,7	6	6	36	0,6	0,38	1,9	L-industry 115	12070	2	117	234	77	246
Вентиляционная	100	4,7	6	3	18	0,4	0,54	0,5	L-industry 115	12070	1	117	117	39	123
<b>ИТОГО</b>													<b>7478</b>	<b>2502</b>	<b>7888</b>

Потеря напряжения в ЛЭП:

$$\Delta U = \frac{P \cdot l}{C \cdot F}, \quad (25)$$

где  $P$  – мощность светильников, кВт;

$l$  – длина ЛЭП, м;

$C$  – коэффициент,  $C = 77 \text{ кВт} \cdot \text{м} / \text{мм}^2$ ;

$F$  – сечение кабеля,  $\text{мм}^2$

$$\Delta U = \frac{6,8 \cdot 75}{77 \cdot 1,5} = 4,4\% < 5\%,$$

таким образом, можно сделать вывод, что выбранный кабель ВВГ-5х1,5 проходит проверку.

Аналогично выбирают и проверяют остальные кабели системы электроосвещения, результаты расчетов даны в таблице 4.

Таблица 4 – Результаты выбора кабелей для подключения светильников

Наименование отделения	$S_p$ , кВА	$I_p$ , А	Кабель	$I_{\text{дл.доп}}$ , А	$l$ , м	$\Delta U$ , %
Ремонтный участок	7146	10,3	ВВГ-5х1,5	19	76	4,41
Комната для персонала	36	0,2	ВВГ-3х1,5	19	71	0,11
Офис	71	0,3	ВВГ-3х1,5	19	32	0,12
Инвентарная	36	0,2	ВВГ-3х1,5	19	27	0,03
Кабинет мастера	107	0,5	ВВГ-3х1,5	19	21	0,15
Складское помещение	123	0,6	ВВГ-3х1,5	19	16	0,11
Помещение КТП	246	1,1	ВВГ-3х1,5	19	12	0,15
Вентиляционная	123	0,6	ВВГ-3х1,5	19	17	0,13

Аварийное освещение необходимо предусмотреть только в ремонтном участке рассматриваемого производства для эвакуации сотрудников из здания производства. Для аварийного освещения рассматриваемого производ-

ства применяют 10 светильников L-industry 115 из числа используемых для системы рабочего освещения. Размещение аварийных светильников представлено в графической части ВКР.

Вывод.

Рассчитаны ожидаемые электрические нагрузки производства СЦ «КогалымЭнергоНефть» ООО «ЛУКОЙЛ-ЭНЕРГОСЕТИ» на стороне 0,4 кВ и высокого напряжения. Определение электрических нагрузок необходимо для расчета количества и мощности как цеховых трансформаторных подстанций, так и для выбора главной понизительной подстанции. Рассчитана система освещения цеха. Для освещения цеха применяются светодиодные светильники L-industry 115 и L-office 25, производства компании LEDEL. Выбраны кабели для подключения светильников производства. По результатам расчета и проверки, установлено, что выбранные кабели для осветительной нагрузки марки ВВГ-5х1,5 соответствуют всем техническим требованиям по проектированию и эксплуатации.



### 3 Выбор трансформаторных подстанций с учетом компенсации реактивной мощности

Наличие в электрической сети реактивной мощности ухудшает КЭ, ведет к таким явлениям как повышение платы за электрическую энергию, дополнительным потерям и перегреву проводов, перегрузке ТП, необходимости завышения мощности силовых трансформаторов и сечений проводников. Для уменьшения реактивной мощности применяются устройства компенсации реактивной мощности. Использование данных устройств дает возможность сократить объем потребляемой реактивной мощности, добиться сбережения электроэнергии и экономического эффекта. КРМ предусматривается на стороне НН ТП.

Установка компенсирующих устройств дает возможность увеличить напряжение на СШ до номинальных значений, которые предписываются НТД. Это дает возможность отказаться от устройств регулирования напряжения потребителями.

Для выбора КУ требуется:

- расчетная реактивная мощность компенсирующих устройств;
- тип КУ;
- напряжение компенсирующих устройств.

Мощность КУ выбирают с учетом требований энергосистемы, которая устанавливает рекомендуемый коэффициент мощности на СШ высокого напряжения ГПП предприятия ( $tg\varphi_{рек.}$ ). Также необходимо руководствоваться внутренними документами предприятий. Для рассматриваемого производства  $tg\varphi_{рек.} = 0,4$ .

Минимальная мощность КУ находится как:

$$Q_{уку} = \alpha \cdot P_p \cdot (tg\varphi_m - tg\varphi_\varepsilon), \quad (26)$$

где  $Q_{уку}$  – реактивная мощность батареи конденсаторов, кВар;

$\alpha$  – коэффициент, который учитывает повышение коэффициента мощности естественным способом, принимаем равным  $\alpha=0,9$ ;

$\text{tg } \varphi_m$  – коэффициент реактивной мощности до компенсации;

$\text{tg } \varphi_3$  – коэффициент реактивной мощности после КРМ;

КРМ производится до  $\cos\varphi = 0,95$ , отсюда  $\text{tg } \varphi_3=0,33$ .

Расчетная мощность компенсирующего устройства равна:

$$Q_{\text{уку1}} = 0,9 \cdot 339,3 \cdot (1,12 - 0,33) = 241,2 \text{ квар.}$$

Выбираются две установки компенсации реактивной мощности УКМ 58-04-150-25 У3, производства компании ЗАО «Электроинтер» [19], по одной установке на каждую секцию шин. Типы компенсирующих устройств сведены в таблицу 5.

Таблица 5 - Типы компенсирующих устройств

№ п/п	Место установки	Тип компенсирующего устройства	Мощность, кВАр	Степень регулирования мощности, кВАр
1	I СШ	УКМ 58-04-150-25 У3	150	25
2	II СШ	УКМ 58-04-150-25 У3	150	25

Рассчитываются фактические значения коэффициентов мощности после КРМ:

$$\text{tg } \varphi_\phi = \text{tg } \varphi - \frac{Q_{\text{к.ст.}}}{\alpha \cdot P_m}; \quad (27)$$

$$\text{tg } \varphi_\phi = 1,12 - (150 + 150) / 0,9 \cdot 339,3 = 0,14,$$

что соответствует  $\cos\varphi_\phi = 0,99$ .

Тогда мощность на НН с КУ равна

$$S_{p(c \text{ КУ})} = \sqrt{339,3^2 + (375,4 - 300)^2} = 347,5 \text{ кВА.}$$

Потери в силовом трансформаторе составят:

$$\Delta P_T = 0,02 \cdot 347,5 = 7,0 \text{ кВт;}$$

$$\Delta Q_T = 0,1 \cdot 347,5 = 34,8 \text{ квар;}$$

$$S_{p(\text{ВН с КУ})} = \sqrt{(339,3 + 7,0)^2 + (75,4 + 34,8)^2} = 363,4 \text{ кВА.}$$

Конденсаторные установки устанавливаются на сборных шинах 0,4 кВ трансформаторной подстанции.

Выбор силовых трансформаторов ТП.

Трансформаторы относят к основному электрооборудованию и верный выбор их типа, количества и мощности необходим для рационального электроснабжения рассматриваемого производства [20] - [22].

Определяя количество трансформаторов в ТП, требуется учесть условие, которое предъявляется к электроснабжению потребителей электроэнергии I и II категории по надежности, которое определяет, что для электроснабжения производства необходимо использовать 2 независимых ИП, то есть требуется использовать двухтрансформаторную ТП.

Расчетная мощность трансформатора:

$$S_T \geq 0,7 S_{p(\text{ВН с КУ})}; \quad (28)$$

$$S_T \geq 0,7 \cdot 363,4 = 254,4 \text{ кВА.}$$

По [15] выбирается 2КТП-400-10/0,4 с трансформаторами ТМГ-400-10/0,4 (рисунок 3) [18]. Технические характеристики силовых трансформаторов ТМГ-400-10/0,4:

- номинальная мощность  $S_{н.т.} = 400 \text{ кВА};$

- напряжение ВН  $U_{ВН} = 10 \text{ кВ};$

- напряжение НН  $U_{\text{НН}} = 0,4 \text{ кВ}$ ;
- потери КЗ  $\Delta P_{\text{К}} = 5,5 \text{ кВт}$ ;
- потери ХХ  $\Delta P_{\text{Х}} = 0,954 \text{ кВт}$ ;
- напряжение КЗ трансформатора  $u_{\text{КЗ}} = 4,5\%$ ;
- ток холостого хода силового трансформатора  $i_{\text{ХХ}} = 2,1\%$ .



Рисунок 3 - Силовой трансформатор ТМГ-400-10/0,4

Действительный коэффициент загрузки в нормальном режиме:

$$K_3 = \frac{S_{\text{P(ВН)}}}{n \cdot S_{\text{ТН}}}; \quad (29)$$

$$K_3 = \frac{363,4}{2 \cdot 400} = 0,45.$$

Действительный коэффициент загрузки в послеаварийном режиме определяется по формуле:

$$K_{3,AB} = \frac{S_{\text{P(ВН)}}}{(n-1) \cdot S_{\text{ТН}}}; \quad (30)$$

$$K_{3.AB} = \frac{363,4}{(2-1) \cdot 400} = 0,90,$$

что меньше максимально допустимого коэффициента загрузки масляного силового трансформатора  $K_{3.доп} = 1,4$  [16]

$$K_{3.AB} = 0,90 < K_{3.доп} = 1,4,$$

а значит, данные трансформаторы можно применять.

Силовые трансформаторы устанавливаются в 2КТП-400-10/0,4, которая включает в себя шкаф ввода ВН, силового трансформатора и РУ НН.

Так как подстанция производства с двумя трансформаторами, то на ней устанавливается секционный шкаф. Между секциями предусматривается защитная аппаратура.

Коммутационная аппаратура должна быть способна коммутировать соответствующие цепи в аварийном режиме, в т.ч. и при коротком замыкании [23], [24]. Во включенном положении коммутационная аппаратура должна быть способна пропускать сквозной ТКЗ.

Вывод.

Выбрана трансформаторная подстанция с учетом компенсации реактивной мощности. Приняты к установке две установки компенсации реактивной мощности УКМ 58-04-150-25 УЗ, производства компании ЗАО «Электроинтер». Для электроснабжения цеха принята 2КТП-400-10/0,4 с трансформаторами ТМГ-400-10/0,4. Приведены технические характеристики силовых трансформаторов ТМГ-400-10/0,4.

#### **4 Выбор и обоснование схемы электроснабжения**

Так как все электроприемники производства на работают переменном токе, то нет необходимости в установке дополнительных источников постоянного тока и прокладке питающих линий постоянного тока.

Трансформаторная подстанция подключается от ГПП предприятия. Питание электроприемников осуществляется на напряжении 0,38 кВ, что позволяет выполнить совместное питание силовой и осветительной нагрузки.

В начале питающих кабельных линий (в ЗРУ ГПП предприятия) установлен выключатель и трансформаторы тока, на КТП со стороны 10 кВ - выключатель нагрузки и предохранители.

Электроснабжение электроприемников производства выполняется по радиальной схеме.

Характерная радиальная схема сети производства: от источника питания, к примеру, от ТП, отходят ЛЭП, которые питают непосредственно мощные потребители электроэнергии или отдельные НРП, от которых по самостоятельным ЛЭП подключены более мелкие потребители электроэнергии.

Основными преимуществами радиальных схем являются:

- простое исполнение и удобство в эксплуатации;
- высокий уровень надежности;
- невысокие потери напряжения и мощности;
- легкая возможность применения автоматизации.

Недостатками в сравнении с магистральными схемами:

- большой расход цветных металлов;
- большая стоимость;
- большие токи короткого замыкания.

Предусматривается сооружение распределительных пунктов. В качестве защитной и отключающей аппаратуры используются автоматические

выключатели. На отходящих линиях к электроприемникам также установлены автоматические выключатели.

На большей части предприятий малой и средней мощности используют схемы электроснабжения с одним приемным пунктом электроэнергии (ТП, ГПП, распределительный пункт 6-10 кВ). Если на производстве присутствуют потребители I категории по надежности электроснабжения, то в приемном пункте необходимо применять секционированные шины. При этом каждая СШ подключается от отдельной ЛЭП.

Вывод.

Выбрана и обоснована схема электроснабжения рассматриваемого производства СЦ «КогалымЭнергоНефть» ООО «ЛУКОЙЛ-ЭНЕРГОСЕТИ». Принята радиальная схема электроснабжения при которой каждый из электроприемников подключается от шкафа РП. Каждый из данных шкафов РП подключен от сборных шин 0,4 кВ КТП производства.

## 5 Расчет токов короткого замыкания

Для расчета ТКЗ составляется схема замещения для расчетной точки КЗ. Схемы замещения представлены на рисунке 4.

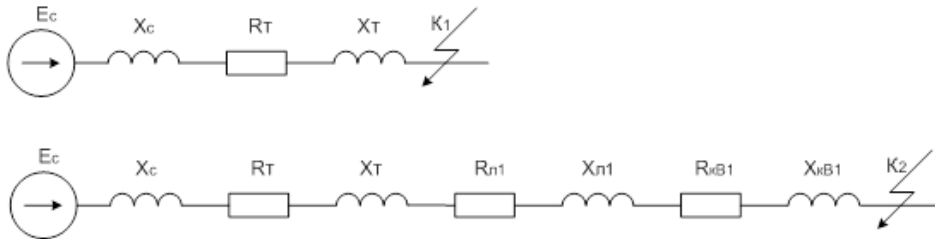


Рисунок 4 - Схемы замещения сети

Сопротивление системы:

$$X_c = \frac{U_{\text{НОМВН}}}{\sqrt{3} \cdot I_{\text{откл}}} \cdot \left( \frac{U_{\text{НОМНН}}}{U_{\text{НОМВН}}} \right)^2, \quad (31)$$

где  $I_{\text{откл}} = 20$  кА – средняя величина отключающей способности современного выключателя 10 кВ

$$X_c = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 20} \cdot \left( \frac{400}{10,5} \right)^2 = 0,44 \text{ мОм.}$$

Сопротивление силового трансформатора ТМГ-400/10/0,4 [16] приведенное к стороне НН:

$$R_T = \frac{P_{\text{к.ном}} U_{\text{ННном}}^2}{S_{\text{т.ном}}^2} 10^6; \quad (32)$$

$$R_T = \frac{5,5 \cdot 0,4^2}{400^2} \cdot 10^6 = 5,5 \text{ мОм;}$$



$$X_T = \sqrt{u_k^2 - \left( \frac{100P_{\text{к.ном}}}{S_{\text{тг.но}}} \right)^2} \frac{U_{\text{нн.ном}}^2}{S_{\text{т.ном}}} 10^4 \quad (33)$$

$$X_T = \sqrt{4,5^2 - \left( \frac{100 \cdot 5,5}{400} \right)^2} \cdot \frac{0,4^2}{400} \cdot 10^4 = 17,1 \text{ МОм.}$$

$$Z_{\text{к1}} = \sqrt{(X_T + X_C)^2 + R_T^2};$$

$$Z_{\text{к1}} = \sqrt{(17,1 + 0,44)^2 + 5,5^2} = 18,4 \text{ МОм.}$$

Ток КЗ в точке К1 определяется по формуле

$$I_{\text{к1}} = \frac{U_c}{\sqrt{3} \cdot Z_{\text{к}}}; \quad (34)$$

$$I_{\text{к1}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 18,4} = 12,6 \text{ кА.}$$

Так как все автоматические выключатели рассчитаны на токи КЗ, большие, чем токи в точке К1, то в расчете токов КЗ в точке К2 смысла нет, принимается  $I_{\text{к2}} = I_{\text{к1}} = 12,6 \text{ кА}$ .

Величина ударного тока [10]:

$$i_y = \sqrt{2} \cdot I_{\text{по}} \cdot K_{\text{уд}}, \quad (35)$$

где  $K_{\text{уд}}$  – ударный коэффициент, так как  $T_a = 0,001 \text{ с}$ , тогда  $K_{\text{уд}} = 1,02$ , тогда

$$i_y = \sqrt{2} \cdot 12,6 \cdot 1,02 = 18,1 \text{ кА.}$$

Вывод. Рассчитан ток короткого замыкания на сборных шинах 0,4 кВ ТП и в сети 0,4 кВ. Данный ток КЗ составляет 12,6 кА.

## 6 Расчет и выбор электрооборудования и проводников

### 6.1 Выбор автоматических выключателей

Номинальный ток расцепителя автомата должен быть больше максимального расчетного тока нагрузки.

$$I_{\text{ном.рас.}} > I_{\text{р.мах}} \quad (36)$$

Для РП  $I_{\text{р.мах}}$  определяется по формуле

$$I_{\text{р.мах}} = \frac{S_{\text{д}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{с}}} \quad (37)$$

Для электродвигателей

$$I_{\text{р.мах}} = \frac{P_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{с}} \cdot \cos \varphi \cdot \eta} \quad (38)$$

где  $\eta$  – КПД ЭД, отн.ед, принимается для всех ЭД  $\eta = 0,9$ .

Ток уставки замедленного срабатывания расцепителя выбирается по условию:

$$I_{\text{ном.рас.}} \geq 1,1 \dots 1,3 \cdot I_{\text{р.мах}}; \quad (39)$$

Выбор уставки расцепителя:

$$I_{\text{ном.рас.а}} \geq (1,25 \dots 1,35) \cdot I_{\text{пик}}; \quad (40)$$

где  $I_{\text{пик}}$  – пиковый ток, А

$$I_{\text{пик}} = i_{\text{п.мах}} + (I_{\text{р}} - k_{\text{и}} \cdot I_{\text{ном.мах}}) \quad (41)$$

здесь  $i_{\text{п.мах}}$  – максимальный из пусковых токов электродвигателей группы потребителей;

$I_{\text{р}}$  – расчетный ток группы ЭП;

$k_{\text{и}}$  – коэффициент использования;

$I_{\text{ном.мах}}$  – номинальный ток электродвигателя с максимальным пусковым током.

Приведем в качестве примера выбор автомата, который защищает РП1:

$$I_{\text{р.мах}} = \frac{189,4}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 273,7 \text{ А},$$

$$I_{\text{пик}} = 5 \cdot 105 + (273,7 - 0,2 \cdot 105) = 693,4 \text{ А};$$

$$1,2 \cdot I_{\text{р.мах}} = 1,2 \cdot 273,7 = 328,5 \text{ А};$$

$$1,25 \cdot I_{\text{пик}} = 1,25 \cdot 328,5 = 866,8 \text{ А}.$$

Выбирается автоматический выключатель ВА51-37 [17]:

$$I_{\text{ном.а}} = 400 \text{ А}; U_{\text{ном.а}} = 0,4 \text{ кВ}; I_{\text{ном.рас}} = 400 \text{ А}; I_{\text{ном.рас.а}} = 4800 \text{ А}.$$

Аналогично выбирают иные автоматы, результаты даны в таблице 6.

Таблица 6 - Выбор автоматических выключателей

Номер ЭП на плане	Защищаемая линия (электроприемник)	$P_p$ , кВт	$\cos\phi$	$I_p$ , А	$1,2 \cdot I_p$ , А	Выключатель	$I_{ном}$ , А	$I_{рас.ном}$ , А	$i_{пик}$ , А	$1,25 \cdot i_{пик}$ , А	$I_{рас.ном.э}$ , А
-	Ввод ТП	331,8	0,66	851,3	1030	ВА50-45Про	1600	1120	1203,1	1503,8	19200
-	ТП-РП1	151,7	0,65	273,7	328,5	ВА51-37	400	400	693,4	866,8	4800
-	ТП-РП2	158,9	0,65	286,8	344,1	ВА51-37	400	400	702,4	878,1	4800
-	ТП-РП3	89,0	0,64	178,4	214,0	ВА51-35	250	250	382,1	477,6	3000
-	ТП-РП4	246,0	0,69	465,8	558,9	ВА51-39	630	630	775,9	969,9	7560
1...5	Шлифовальные станки	105	0,65	259,4	311,2	ВА51-37	400	315	1296,9	1621,1	4800
6, 16, 18...20	Сварочные аппараты	94,5	0,65	233,4	280,1	ВА51-37	400	315	1167,2	1459,0	4800
17	Кран мостовой	84 кВА	0,5	134,9	161,8	ВА51-35	250	200	674,4	843,0	3000
21...23, 29...31	Фрезерные станки	73,5	0,65	181,6	217,9	ВА51-35	250	250	907,8	1134,8	3000
24...28, 34...36	Агрегатно-расточные станки	38,64	0,65	95,4	114,5	ВА51-33	160	125	477,2	596,6	1920
7...15	Радиально-сверлильные станки	21	0,65	51,9	62,2	ВА51-31	100	63	259,4	324,2	1200
32	Вентилятор вытяжной	37,8	0,8	75,9	91,0	ВА51-31	100	100	379,3	474,2	1200
33	Вентилятор приточный	42	0,8	84,3	101,2	ВА51-33	160	125	421,5	526,9	1920

В качестве распределительных пунктов принимаются шкафы ПР8501.

## 6.2 Выбор кабельных линий

Выбор сечений кабелей к распределительным пунктам и отдельным электроприемникам.

Для ЛЭП от ТП до РП1 с наибольшим рабочим током 273,7 А принимается кабель ВВГ-5х240 с  $I_{\text{дл.доп.}} = 439 \text{ А}$ . Проверка выбранного кабеля на соответствие автоматическому выключателю, защищающего ЛЭП

$$I_{\text{дл.доп.}} = 439 \text{ А} > I_{\text{рас.ном}} = 400 \text{ А} - \text{верно.}$$

Аналогичным образом выбираются остальные кабели, результаты расчетов сведены в таблицу 7.

Таблица 7 - Выбор сечения проводников к ЭП

Номер ЭП на плане	Наименование ЭП	$I_p, \text{ А}$	$I_{\text{рас.ном}}, \text{ А}$	Кабель	$I_{\text{дл.доп}}, \text{ А}$
-	ТП-РП1	273,7	400	ВВГ-5х240	439
-	ТП-РП2	286,8	400	ВВГ-5х240	439
-	ТП-РП3	178,4	250	ВВГ-5х95	260
-	ТП-РП4	465,8	630	2хВВГ-5х150	660
1...5	Шлифовальные станки	259,4	315	ВВГ-5х150	330
6, 16, 18...20	Сварочные аппараты	233,4	315	ВВГ-5х150	330
17	Кран мостовой	134,9	200	ВВГ-5х70	215
21...23, 29...31	Фрезерные станки	181,6	250	ВВГ-5х95	260
24...28, 34...36	Агрегатно-расточные станки	95,4	125	ВВГ-5х35	141
7...15	Радиально-сверлильные станки	51,9	63	ВВГ-5х10	66
32	Система вытяжной вентиляции	75,9	100	ВВГ-5х25	115
33	Система приточной вентиляции	84,3	125	ВВГ-5х35	141

### 6.3 Расчет внешнего электроснабжения производства

Схема питания от сборных шин 10 кВ ГПП представлена на рисунке 5

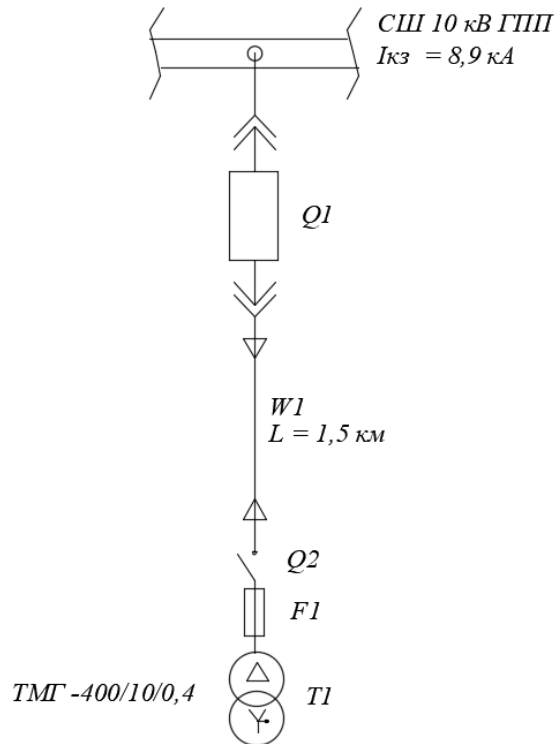


Рисунок 5 - Схема питания от сборных шин 10 кВ ГПП

Расчетный ток в КЛ в нормальных режимах:

$$I_{PK} = \frac{S_{PK}}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot n_K}; \quad (42)$$

где  $S_{PK}$  – мощность, передаваемая по КЛ в нормальных режимах, кВА.

$n_K$  – количество запараллеленных кабелей в КЛ, в рассматриваемом случае  $n_K = 1$ .

$$I_{PK} = \frac{363,4}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 1} = 21,0 \text{ А.}$$

Сечение КЛ, которое определяется по экономической плотности тока:

$$F_{\text{э}} = I_{\text{рк}} / j_{\text{э}}; \quad (43)$$

где  $j_{\text{э}}=1,2$  – экономическая плотность тока, при  $T_{\text{М}} = 6000$  ч/год [16].

$$F_{\text{э}} = 21,0 / 1,2 = 17,5 \text{ мм}^2,$$

выбирается кабель типа ААШв-10-3х16, согласно [16]  $I_{\text{доп}} = 75\text{А}$ .

Допустимый ток кабеля при учете условий его прокладки равен:

$$I_{\text{доп}}' = K_{\text{п}} \cdot K_{\text{т}} \cdot I_{\text{доп}}; \quad (44)$$

где  $K_{\text{п}}$  – коэффициент на количество параллельно проложенных кабелей [16],

в данном случае  $K_{\text{п}} = 1,0$  при прокладке в земле;

$K_{\text{т}}$  – поправочный коэффициент на температуру,  $K_{\text{т}}=1,00$ .

$$I_{\text{доп}}' = 1,0 \cdot 1,00 \cdot 75 = 75 \text{ А}.$$

Проверка кабеля по допустимому току в нормальном режиме работы выполняется по условию:

$$I_{\text{доп}}' > I_{\text{рк}}; \quad (45)$$

$$I_{\text{доп}}' = 75 \text{ А} > I_{\text{рк}} = 21,0 \text{ А}.$$

Под послеаварийным режимом КЛ понимается режим, при котором повреждена одна из 2-х КЛ, которые питают рассматриваемое производство.

При этом нагрузка на КЛ увеличивается в два раза, то есть

$$I_{AB} = 2 \cdot I_{PK}; \quad (46)$$

$$I_{AB} = 2 \cdot 21,0 = 42 \text{ A.}$$

Допустимая перегрузка кабеля в послеаварийном режиме

$$I_{AB}' = K_{AB} \cdot I_{доп}', \text{ A}; \quad (47)$$

где  $K_{AB}$  – коэффициент перегрузки, который определяется по [16] с учетом от коэффициента нагрузки в нормальном режиме:

$$K_3 = I_{PK} / I_{доп}'; \quad (48)$$

$$K_3 = 21,0 / 75 = 0,28;$$

тогда  $K_{AB}=1,25$

$$I_{AB}' = 1,25 \cdot 75 = 93,75 \text{ A.}$$

Проверка по току перегрузки выполняется по следующему выражению:

$$I_{AB}' > I_{AB}; \quad (49)$$

$$I_{AB}'=93,75 \text{ A} > I_{AB}=42 \text{ A};$$

следовательно, выбранный кабель проходит проверку.

Потери напряжения в КЛ в послеаварийных режимах можно найти как:

$$\Delta U = \frac{P_P \cdot r_0 \cdot l + Q_P \cdot x_0 \cdot l}{n_K \cdot U_H^2} \cdot 100 \% \leq U_{доп} = 5\%; \quad (50)$$

где  $P_P, Q_P$  – расчетные мощности КЛ;

$r_0, x_0$  – удельные сопротивления КЛ,  $r_0=1,95$  Ом/км,  $x_0=0,102$  Ом/км [16];



$l$  – протяженность КЛ,  $l = 1,8$  км.

$$\Delta U = \frac{346,3 \cdot 1,95 \cdot 1,5 + 110,2 \cdot 0,102 \cdot 1,5}{1 \cdot 10^2 \cdot 10^3} \cdot 100 \% = 1,03 \% \leq U_{\text{доп}} = 5\%.$$

Кабели напряжением 10 кВ схемы внешнего электроснабжения проверяют на термическую стойкость к ТКЗ.

Критерием термической устойчивости проводника является конечная температура при коротком замыкании. Она должна быть ограничена во избежание разрушения изоляции, чрезмерной деформации и потери механической прочности металлов. Допускаемые конечные температуры для кратковременного нагрева при коротком замыкании значительно выше допускаемых температур при длительной работе, поскольку износ изоляции, а также изменение механических свойств металлов определяются длительностью теплового воздействия. Допустимые температуры при коротком замыкании лежат в пределах 175...300°C.

Термически стойкое сечение для кабельных линий от ГПП до ТП определяется как:

$$F_{\text{ТС}} = \frac{\sqrt{W_{\text{К}}}}{C}; \quad (51)$$

$C$  – коэффициент,  $A \cdot c^{0,5} / \text{мм}^2$  [16];

$W_{\text{К}}$  – тепловой импульс ТКЗ,

$$W_{\text{К}} = I_{\text{ПО}}^2 \cdot (t_{\text{отк}} + T_{\text{А}}); \quad (52)$$

где  $I_{\text{ПО}}$  – ток короткого замыкания на сборных шинах 10 кВ ГПП, согласно данным энергослужбы СЦ «КогалымЭнергоНефть» ООО «ЛУКОЙЛ-ЭНЕРГОСЕТИ»  $I_{\text{ПО}} = 8,9$  кА;

$t_{\text{отк}}$  – время от возникновения КЗ до его отключения, с:

$$t_{\text{отк}} = t_{\text{РЗ}} + t_{\text{ОВ}}; \quad (53)$$

где  $t_{\text{РЗ}}$  – время действия РЗ,  $t_{\text{РЗ}} = 0,5$  с;

$t_{\text{ОВ}}$  – полное время отключения выключателя,  $t_{\text{ОВ}} = 0,07$  с.

$$t_{\text{отк}} = 0,5 + 0,07 = 0,57 \text{ с};$$

$$B_{\text{К}} = 8,9^2 \cdot (0,57 + 0,12) = 54,7 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

$$F_{\text{ТС}} = \frac{\sqrt{54,7 \cdot 10^6}}{100} = 74,0 \text{ мм}^2;$$

следовательно, необходимо увеличить ранее выбранное сечение кабеля от ГПП до ТП до  $95 \text{ мм}^2$ . Таким образом, для питания от сборных шин 10 кВ ГПП принимается кабель ААШв-10-3х95.

Выключатели напряжением 10 кВ в ГПП предприятия для защиты кабельной линии от РП-10 кВ до проектируемой КТП производства.

Выключатели выбираются [16]:

- по напряжению установки

$$U_{\text{уст}} \leq U_{\text{ном}}; \quad (54)$$

- по длительному току

$$I_{\text{норм}} \leq I_{\text{ном}}; \quad (55)$$

$$I_{\text{max}} \leq I_{\text{ном}}; \quad (56)$$

- по отключающей способности

$$I_{\text{к.з.}}^{(3)} \leq I_{\text{отк.ном}}; \quad (57)$$

где  $I_{отк.ном}$  – номинальный ток отключения, кА;  
 - по электродинамической стойкости

$$i_y \leq i_{дин}; \quad (58)$$

где  $i_{дин}$  – ток электродинамической стойкости, кА;  
 $i_y$  – ударный ток КЗ на СШ 10 кВ РП-10 кВ,  $i_y = 21,4$  кА;  
 - по термической стойкости

$$B_k \leq I_{тер}^2 t_{тер}; \quad (59)$$

где  $I_{тер}$  – ток термической стойкости, кА;  
 $t_{тер}$  – время протекания тока термической стойкости, с.

Так как на ГПП предприятия в настоящее время установлены ячейки КРУ-104 с вакуумными выключателями ВВ/TEL-10-16/630 УЗ, то для подключения проектируемой КТП рассматриваемого производства также принимается ячейки КРУ-104 с выключателями ВВ/TEL-10-16/630 УЗ. Параметры выключателя даны в таблице 8.

Таблица 8 - Выбор выключателя

Условия выбора	Расчетные параметры сети	Параметры
$u_{ном} \geq u_{уст}$	$u_{уст} = 10$ кВ	$u_{ном} = 10$ кВ
$I_{ном} \geq I_{max}$	$I_{max} = 42$ А	$I_{ном} = 630$ А
$I_{ном.откл.} \geq I_{кз}^{(3)}$	$I_{п,t} = 8,9$ кА	$I_{ном.откл.} = 16$ кА
$i_{дин} \geq i_{уд}$	$i_{уд} = 21,4$ кА	$i_{дин} = 40$ кА
$I_{тер}^2 \cdot t_{тер} \geq B_k$	$B_k = 54,7$ кА <sup>2</sup> · с	$I_{тер}^2 \cdot t_{тер} = 16^2 \cdot 3 = 768$ кА <sup>2</sup> · с

Выключатели нагрузки (ВН) на вводе в ТП.

Расчетные параметры КЗ при выборе оборудования в КТП принимаем равными параметра КЗ на сборных шинах 10 кВ ГПП предприятия, так как

реальные значения их будут отличаться незначительно из-за малой длины питающей линии, и к тому же в меньшую сторону, и для выбора оборудования это не будет играть большого значения.

ВН выбирают [16]:

- по напряжению установки

$$U_{\text{уст}} \leq U_{\text{ном}} ; \quad (60)$$

- по длительному току

$$I_{\text{норм}} \leq I_{\text{ном}} ; \quad (61)$$

$$I_{\text{max}} \leq I_{\text{ном}} ; \quad (62)$$

- по электродинамической стойкости

$$i_y \leq i_{\text{дин}} ; \quad (63)$$

- по термической стойкости

$$B_k \leq I_{\text{тер}}^2 \cdot t_{\text{тер}} . \quad (64)$$

Для установки на вводе в ТП применяется ВН ВНРп-10/400 УЗ. Параметры ВН даны в таблице 9.

Таблица 9 - Выбор ВН

Условия выбора	Параметры сети	Параметры
$u_{\text{ном}} \geq u_{\text{уст}}$	$u_{\text{уст}} = 10 \text{ кВ}$	$u_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ}$
$I_{\text{ном}} \geq I_{\text{max}}$	$I_{\text{max}} = 42 \text{ А}$	$I_{\text{ном}} = 400 \text{ А}$
$i_{\text{дин}} \geq i_{\text{уд}}$	$i_{\text{уд}} = 21,4 \text{ кА}$	$i_{\text{дин}} = 40 \text{ кА}$
$I_{\text{тер}}^2 \cdot t_{\text{тер}} \geq B_k$	$B_k = 54,7 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I_{\text{тер}}^2 \cdot t_{\text{тер}} = 16^2 \cdot 3 = 768 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

## Предохранители напряжением 10 кВ

Предохранитель выбирается [16]:

- по напряжению установки

$$U_{уст} \leq U_{ном}; \quad (6.5)$$

- по длительному току

$$I_{норм} \leq I_{ном}; \quad (66)$$

$$I_{max} \leq I_{ном}; \quad (67)$$

- по отключающей способности

$$I_{к.з.}^{(3)} \leq I_{отк.ном}. \quad (68)$$

Выбирается предохранитель ПКТ103-10-20/50 (таблица 10).

Таблица 10 - Выбор ВН на вводе в ТП [16]

Условия выбора	Данные сети	Параметры
$u_{ном} \geq u_{уст}$	$u_{уст} = 10\text{кВ}$	$u_{ном} = 10\text{кВ}$
$I_{ном} \geq I_{max}$	$I_{max} = 42 \text{ А}$	$I_{ном} = 50\text{А}$
$I_{к.з.}^{(3)} \leq I_{отк.ном}$	$I_{к.з.}^{(3)} = 8,9 \text{ кА}$	$I_{отк.ном} = 20\text{кА}$

**Вывод.**

Выбрано электрооборудование цеха и проводники. Выбраны автоматические выключатели в цехе. В качестве распределительных пунктов принимаются шкафы ПР8501. Выбраны кабельные линии производства. Рассчитано внешнее электроснабжение производства.

## 7 Расчет релейной защиты и автоматики

### 7.1 Расчёт РЗ кабеля от КТП до РП-1

Схема участка электросети для расчета РЗ приведена на рисунке 6.

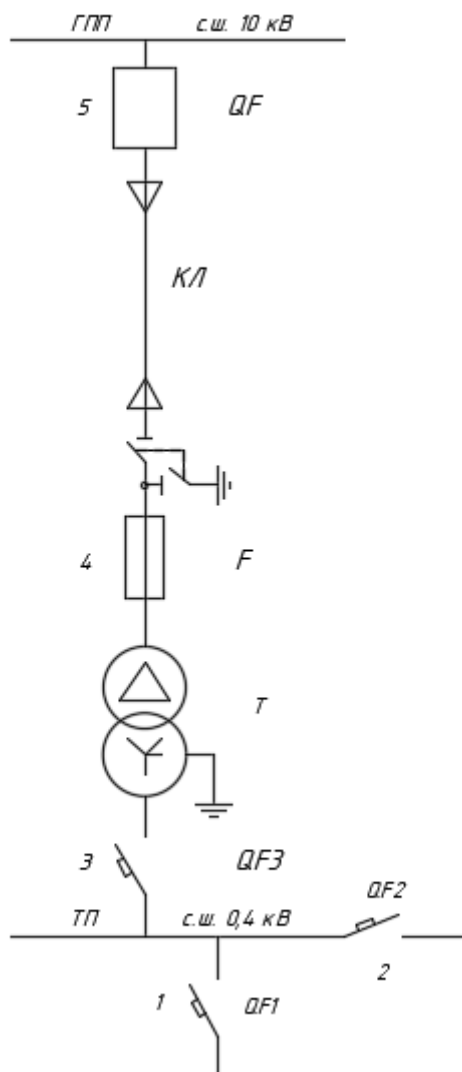


Рисунок 6 – Схема участка электросети для расчета РЗ

РЗ кабеля от КТП до РП-1 выполняется автоматом QF1 отходящей КЛ.

Первой ступенью данной защиты является защита от перегруза.

Расчетный ток уставки расцепителя равен:

$$I_p^{\text{расч}} = k_p \cdot k_n \cdot I_{\text{max.паб}} \quad (69)$$

$$I_p^{\text{расч}} = 1,1 \cdot 1,1 \cdot 273,7 = 331,2 \text{ А.}$$

Выбирается автомат ВА51-37 с  $I_{\text{ном.ав}} = 400 \text{ А}$  [15] с током расцепителя  $I_{p1} = 400 \text{ А}$ .

Уставка по току расцепителя при перегрузке:

$$I_{п1} = 1,125 \cdot I_{p1}; \quad (70)$$

$$I_{п1} = 1,125 \cdot 400 = 450 \text{ А.}$$

Принимается уставка  $T_{п1} = 4 \text{ с}$  при  $6 \cdot I_p$ .

Второй ступенью данной защиты является селективная токовая отсечка (ТО) с выдержкой времени.

Расчетное значение тока расцепителя составляет:

$$I_{\text{к.расч}} = \frac{k_{\text{отс}} \cdot k_{\text{сз}}}{k_{\text{в}}} \cdot I_{\text{max.раб}}, \quad (71)$$

$$I_{\text{к.расч}} = \frac{1,2 \cdot 1}{0,95} \cdot 273,7 = 345,7 \text{ А.}$$

Тогда уставка по току расцепителя при КЗ с выдержкой времени вычисляется как:

$$I_{\text{к1}} = 1,2 \cdot I_{p1}; \quad (72)$$

$$I_{\text{к1}} = 1,2 \cdot 400 = 480 \text{ А.}$$

Принимается уставка  $T_{\text{к}} = 0,25 \text{ с}$ .

Условие чувствительности защиты:

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{кз}}^{(2)}}{I_{\text{к}}} > 1,5, \quad (73)$$

где  $I_{\text{кз}}^{(2)}$  - величина тока 2-хфазного КЗ в месте КЗ, кА

$$I_{\text{кз}}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{\text{кз}}^{(3)}, \quad (74)$$

$$I_{\text{кз}}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 12,6 \cdot 10^3 = 10899 \text{ А.}$$

$$K_{\text{ч}} = \frac{10899}{480} = 22,7 > 1,5.$$

а значит выбранная защита соответствует требованиям чувствительности.

Третьей ступенью данной защиты является мгновенная ТО

Расчетное значение тока расцепителя составляет:

$$I_{\text{м.расч1}} = 2,6 \cdot I_{\text{к1}}; \quad (75)$$

$$I_{\text{м.расч1}} = 2,6 \cdot 480 = 1248 \text{ А.}$$

Условие чувствительности защиты:

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{кз}}^{(2)}}{I_{\text{к}}} > 2,0, \quad (76)$$

$$K_{\text{ч}} = \frac{10899}{1248} = 8,7 > 2,0,$$

а значит выбранная защита соответствует требованиям чувствительности.

Предельная отключающая способность выключателя должна быть больше трёхфазного тока КЗ в месте установки выключателя



$$I_{cu} > I_{кз}^{(3)}, \quad (77)$$

$$25 \text{ кА} > 12,6 \text{ кА}.$$

## 7.2 Расчёт РЗ сборных шин 0,4 кВ

РЗ СШ 0,4 кВ КТП производства выполняется при помощи секцион-ного выключателя QF2.

Первой ступенью данной защиты является защита от перегруза.

Определим расчетный ток уставки расцепителя

$$I_p^{\text{расч}} = k_p \cdot k_H \cdot I_{\text{max.раб}}. \quad (78)$$

Ток максимальный рабочий:

$$I_{\text{max.раб}} = \frac{0,7 \cdot S_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НН}}}, \quad (79)$$

где  $S_{\text{НОМ}}$  – номинальная мощность трансформатора, кВА

$$I_{\text{max.раб}} = \frac{0,7 \cdot 400}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 425,9 \text{ А},$$

$$I_p^{\text{расч}} = 1,1 \cdot 1,1 \cdot 425,9 = 515,4 \text{ А}.$$

Выбирается автомат ВА51-39 с  $I_{\text{НОМ.ав}} = 630 \text{ А}$  [15].

Уставка тока расцепителя составит

$$I_{p2} = 0,9 \cdot I_{\text{НОМ.ав}}; \quad (80)$$

$$I_{p2} = 0,9 \cdot 630 = 567 \text{ А}.$$

Уставка по току расцепителя при перегрузке:

$$I_{п2} = 1,125 \cdot I_{p2}; \quad (81)$$

$$I_{п2} = 1,125 \cdot 567 = 637,9 \text{ А.}$$

Принимается уставка  $T_{п1} = 4 \text{ с}$  при  $6 \cdot I_p$ .

Второй ступенью данной защиты является селективная ТО, которая работает с выдержкой времени.

Расчетное значение тока расцепителя составляет:

$$I_{к.расч} = \frac{k_{отс} \cdot k_{сз}}{k_B} \cdot I_{max.раб}, \quad (82)$$

$$I_{к.расч} = \frac{1,2 \cdot 1}{0,95} \cdot 425,9 = 538,0 \text{ А.}$$

Тогда уставка по току расцепителя при КЗ с выдержкой времени вычисляется как:

$$I_{к2} = 1,2 \cdot I_{p2}; \quad (83)$$

$$I_{к2} = 1,2 \cdot 567 = 680,4 \text{ А.}$$

Принимается уставка  $T_k = 0,25 \text{ с}$ .

Условие чувствительности защиты:

$$K_{ч} = \frac{I_{кз}^{(2)}}{I_k} > 1,5, \quad (84)$$

где  $I_{кз}^{(2)}$  - величина тока 2-хфазного КЗ в месте КЗ, кА

$$K_{\text{ч}} = \frac{10899}{680,4} = 16,0 > 1,5.$$

а значит выбранная защита соответствует требованиям чувствительности.

Третьей ступенью данной защиты является мгновенная ТО.

Расчетное значение тока расцепителя составляет:

$$I_{\text{м.расч1}} = 2,6 \cdot I_{\text{к1}}; \quad (85)$$
$$I_{\text{м.расч1}} = 2,6 \cdot 680,4 = 1769,0 \text{ А.}$$

Условие чувствительности защиты:

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{кз}}^{(2)}}{I_{\text{к}}} > 2,0, \quad (86)$$
$$K_{\text{ч}} = \frac{10899}{1769,0} = 6,2 > 2,0,$$

а значит выбранная защита соответствует требованиям чувствительности.

Предельная отключающая способность выключателя должна быть больше трёхфазного тока КЗ в месте установки выключателя:

$$I_{\text{сш}} > I_{\text{кз}}^{(3)}, \quad (87)$$
$$45 \text{ кА} > 12,6 \text{ кА.}$$

### **7.3 Расчёт РЗ трансформатора на стороне 0,4 кВ**

РЗ трансформатора со стороны 0,4 кВ выполняется при помощи вводного выключателя 0,4 кВ.

Первой ступенью данной защиты является защита от перегруза.

Определим расчетный ток уставки расцепителя

$$I_p^{\text{расч}} = k_p \cdot k_H \cdot I_{\text{max.раб}}. \quad (88)$$

Ток максимальный рабочий:

$$I_{\text{max.раб}} = \frac{1,4 \cdot S_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НН}}}, \quad (89)$$

где  $S_{\text{НОМ}}$  – номинальная мощность трансформатора, кВА

$$I_{\text{max.раб}} = \frac{1,4 \cdot 400}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 851,8 \text{ А},$$

$$I_p^{\text{расч}} = 1,1 \cdot 1,1 \cdot 851,8 = 1030,8 \text{ А}.$$

Выбирается автомат ВА50-45Про с  $I_{\text{НОМ.ав}} = 1600 \text{ А}$  [15].

Уставка тока расцепителя составит

$$I_{p2} = 0,7 \cdot I_{\text{НОМ.ав}}; \quad (90)$$

$$I_{p2} = 0,7 \cdot 1600 = 1120 \text{ А}.$$

Уставка по току расцепителя при перегрузке:

$$I_{п2} = 1,125 \cdot I_{p2}; \quad (91)$$

$$I_{п2} = 1,125 \cdot 1120 = 1260 \text{ А}.$$

Принимается уставка  $T_{п1} = 4 \text{ с}$  при  $6 \cdot I_p$ .

Второй ступенью данной защиты является селективная ТО, которая работает с выдержкой времени.

Расчетное значение тока расцепителя составляет:

$$I_{\text{к.расч}} = \frac{k_{\text{отс}} \cdot k_{\text{сз}}}{k_{\text{в}}} \cdot I_{\text{max.раб}}, \quad (92)$$

$$I_{\text{к.расч}} = \frac{1,2 \cdot 1}{0,95} \cdot 1260 = 1561,6 \text{ А.}$$

Тогда уставка по току расцепителя при КЗ с выдержкой времени вычисляется как:

$$I_{\text{к2}} = 1,2 \cdot I_{\text{п2}}; \quad (93)$$

$$I_{\text{к2}} = 1,4 \cdot 1120 = 1568 \text{ А.}$$

Принимается уставка  $T_{\text{к}} = 0,25 \text{ с}$ .

Условие чувствительности защиты:

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{кз}}^{(2)}}{I_{\text{к}}} > 1,5, \quad (94)$$

где  $I_{\text{кз}}^{(2)}$  - ток 2-фазного КЗ в месте КЗ, кА

$$K_{\text{ч}} = \frac{10899}{1568} = 7,0 > 1,5.$$

а значит выбранная защита соответствует требованиям чувствительности.

Второй ступенью данной защиты является мгновенная ТО.

Расчетное значение тока расцепителя составляет:

$$I_{\text{м.расч1}} = 2,6 \cdot I_{\text{к1}}; \quad (95)$$

$$I_{\text{м.расч1}} = 2,6 \cdot 1344 = 3494,4 \text{ А.}$$

Условие чувствительности защиты:

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{кз}}^{(2)}}{I_{\text{к}}} > 2,0, \quad (96)$$

$$K_{\text{ч}} = \frac{10899}{3494,4} = 3,1 > 2,0,$$

а значит выбранная защита соответствует требованиям чувствительности.

Проверка по току КЗ выполняется по условию:

$$I_{\text{сч}} > I_{\text{кз}}^{(3)}, \quad (97)$$

$$45 \text{ кА} > 12,6 \text{ кА}.$$

#### 7.4 РЗ трансформатора

РЗ трансформатора ТМГ-400/10/0,4 выполняется предохранителями ПКТ-10.

Ток плавкой вставки предохранителя выбирается по условию:

$$I_{\text{пл.вст.}} > 2 \cdot I_{\text{н.т.}}; \quad (98)$$

где  $I_{\text{н.т.}}$  - ток трансформатора на ВН, А

$$I_{\text{н.т.}} = \frac{S_{\text{н.т.}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}}; \quad (99)$$

$$I_{\text{н.т.}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 10} = 23,1 \text{ А};$$

тогда

$$I_{\text{пл.вст.}} > 2 \cdot 23,1 = 46,2 \text{ А.}$$

Значит, выбирается предохранитель ПКТ-10 с  $I_{\text{F1.н}} = 50 \text{ А}$ .

Условие чувствительности защиты:

$$K_{\text{ч.F1}} = \frac{I_{\text{кз}}^{(2)}}{I_{\text{F1.н}} \cdot K_{\text{тн}}} \geq K_{\text{ч.доп}} \quad (100)$$

где  $K_{\text{тн}}$  – коэффициент трансформации силового трансформатора,

$$K_{\text{тн}} = \frac{U_{\text{ВН}}}{U_{\text{НН}}}, \quad (101)$$

$$K_{\text{тн}} = \frac{10000}{400} = 25,$$

$I_{\text{кз}}^{(2)}$  - величина тока 2-хфазного КЗ на НН, кА

$$I_{\text{кз}}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{\text{кз}}^{(3)}; \quad (102)$$

$$I_{\text{кз}}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 12,6 \cdot 10^3 = 10899 \text{ А};$$

$$K_{\text{ч.F1}} = \frac{10899}{50 \cdot 25} = 8,7 \geq 3.$$

а значит выбранная защита соответствует требованиям чувствительности.

Также необходимо выполнить проверку по отключающей способности:

$$I_{\text{п.о.}} > I_{\text{кз}}^{(3)}; \quad (103)$$

где  $I_{п.о.}$  - предельно отключаемый ток предохранителя, кА;

$I_{кз}^{(3)}$  - максимальный ток КЗ, кА.

$$20 \text{ кА} > 12,6 \text{ кА.}$$

### 7.5 РЗ питающей кабельной линии

Для РЗ КЛ устанавливаются следующие виды защит:

- 1) ТО без выдержки времени;
- 2) МТЗ с выдержкой времени;
- 3) защита от ОЗЗ.

ТО без выдержки времени.

ТО выполняется на базе микропроцессорного терминала Micom P123.

Допустимый ток кабеля ААШв-4х95:  $I_{л.доп.} = 219 \text{ А}$ .

Максимальный рабочий ток КЛ принимается равным длительно допустимому току кабеля.

$$I_{maxраб} = n_{л} \cdot I_{л.доп.}, \quad (104)$$

где  $n_{л}$  – количество питающих КЛ от ГПП предприятия до КТП производства.

$$I_{maxраб} = 2 \cdot 219 = 438 \text{ А.}$$

Принимается к установке ТТ марки ТОЛ-10-400-0,5/10Р:  $I_{1н} = 400 \text{ А}$ ,  
 $I_{2н} = 5 \text{ А}$ .

Коэффициент трансформации ТТ:



$$k_I = \frac{I_{1н}}{I_{2н}} = \frac{400}{5} = 80.$$

Схема соединения ТТ и реле – неполная звезда, коэффициент схемы  $k_{cx} = 1$ .

Ток срабатывания РЗ:

$$I_{сз} = k_{отс} \cdot I_{к.з.мах}^{(3)}, \quad (105)$$

здесь  $k_{отс} = 1,1$  – коэффициент отстройки.

$$I_{сз} = 1,1 \cdot 8900 = 9790 \text{ А.}$$

Величина коэффициента чувствительности не определяется. Считается, что основная РЗ КЛ - МТЗ.

Ток срабатывания реле:

$$I_{ср} = \frac{k_{cx}}{k_I} \cdot I_{сз} = \frac{1}{80} \cdot 9790 = 122,4 \text{ А.}$$

МТЗ с выдержкой времени.

МТЗ выполняется на базе микропроцессорного терминала Micom P123.

Ток срабатывания РЗ:

$$I_{сз} = \frac{k_{отс} \cdot k_{сз}}{k_B} \cdot I_{махраб}, \quad (106)$$

где  $k_{отс} = 1,1$  – коэффициент отстройки;

$k_{сз} = 3,55$  – коэффициент самозапуска электродвигателей.

$$I_{c3} = \frac{1,1 \cdot 3,55}{0,9} \cdot 350 = 1518,6 \text{ А.}$$

Коэффициент чувствительности в основной зоне проверяется по току двухфазного КЗ в конце КЛ:

$$K_{\text{ч}}^{\text{осн}} = \frac{I_{\text{к.з. min}}^{(2)}}{I_{c3}} = \frac{\sqrt{3} \cdot I_{\text{к.з. min}}^{(3)}}{I_{c3}}; \quad (107)$$

$$K_{\text{ч}}^{\text{осн}} = \frac{\frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 9500}{1518,6} = \frac{2482}{1636} = 5,4 > 1,5.$$

Ток срабатывания реле:

$$I_{\text{ср}} = \frac{k_{\text{сх}}}{k_{\text{I}}} \cdot I_{c3}; \text{ А.} \quad (108)$$

$$I_{\text{ср}} = \frac{k_{\text{сх}}}{k_{\text{I}}} \cdot I_{c3} = \frac{1}{80} \cdot 1518,6 = 19,0 \text{ А.}$$

Выдержка времени защиты принимается 1,2 с.

Защита от ОЗЗ.

Выбирается реле РТЗ-51, ток срабатывания  $I_{\text{ср}} = 0,02 \div 0,12 \text{ А.}$

Измерительным органом является ТТ нулевой последовательности марки ТЗРЛ.

Для кабеля ААШв-3х95 удельный емкостный ток ОЗЗ составляет  $I_{\text{с0}} = 1,7 \text{ А / км.}$

Ток нулевой последовательности КЛ, который обусловлен током утечки составляет:

$$I_{0Л} = I_{C0} \cdot l \cdot n_{Л}; \quad (109)$$

$$I_{0Л} = 1,7 \cdot 1,5 \cdot 2 = 5,1 \text{ А.}$$

Ток срабатывания защиты:

$$I_{сз} = k_{отс} \cdot 3 \cdot I_{0Л}, \quad (110)$$

здесь  $k_{отс} = 4$  – коэффициент отстройки.

$$I_{сз} = 4 \cdot 3 \cdot 5,1 = 104,0 \text{ А.}$$

Проверка чувствительности данной защиты не производится, так как неизвестен ток утечки для всей электросети СЦ «КогалымЭнергоНефть» ООО «ЛУКОЙЛ-ЭНЕРГОСЕТИ», который необходимо определять путем проведения экспериментов.

Вывод.

Рассчитана РЗиА производства. Рассчитаны РЗ отходящей линии от КТП, РЗ СШ 0,4 кВ, РЗ трансформатора на стороне 0,4 кВ, которые выполнены автоматическими выключателями. Также рассчитана РЗ силовых трансформаторов ТП и питающей кабельной линии от ГПП предприятия до ТП рассматриваемого производства. По построенной карте селективности, приведенной в графической части ВКР видно, что селективность выбранных защит выдерживается.

## 8 Расчет заземления производства

На ТП для обеспечения нормальной работы электрических установок, а также для обеспечения электробезопасности обслуживающих работников выполняют заземление, включающее в себя наружный контур заземления и заземляющие проводники, которые прокладываются внутри помещения трансформаторной подстанции. Заземление трансформаторной подстанции выполняет функции рабочего заземления, которое необходимо по условиям эксплуатации, и защитного заземления, обеспечивающего защиту обслуживающих работников от поражения электротоком. Для обеспечения этих функций все металлические конструкции и металлические части электрического оборудования соединяются с заземлением.

Заземляющее устройство и защитные проводники должны удовлетворять требованиям ГОСТ Р 50571.5.54-2013 [4]. Все соединения выполняют при помощи сварки. Общее сопротивление заземляющего устройства должно быть не больше 4 Ом для КТП [17].

Тип системы заземления – TN-C-S [17].

Заземление фланцев проходных изоляторов, опорных металлических конструкций и корпусов аппаратуры, жалюзи выполняют по месту полосой стальной 4x25 мм.

Заземление металлических рам дверей и ворот осуществляют приваркой их к внутреннему контуру заземления полосой стальной 4x25 мм.

Грунт – песок,  $\rho = 1,510^4$  Ом/см, принимается  $R_3 = 4$  Ом [17].

Контур заземления размещается в ряд с расстоянием между заземлителями равно 5,75 м и вертикальными заземлителями длиной 5 м.

В качестве вертикальных заземлителей принимаются стержни из круглой стали диаметром 16 мм, а горизонтального – полосовую сталь 40 x 4 мм<sup>2</sup>.

Сопротивление одиночного вертикального заземлителя равно:

$$R_0 = \frac{0,16\rho}{l} \cdot \left( \ln \frac{2l}{d} + 0,5 \cdot \ln \frac{4h+l}{4h-l} \right); \quad (111)$$

$$R_0 = \frac{0,16 \cdot 1,5 \cdot 10^4}{500} \cdot \left( \ln \frac{2 \cdot 500}{1,2} + 0,5 \cdot \ln \frac{4 \cdot 250 + 500}{4 \cdot 250 - 500} \right) = 32,8 \text{ Ом.}$$

Принимается количество стержней 8 шт.

Сопротивление всех вертикальных заземлителей равно:

$$R_B = \frac{R_0}{n \cdot \eta_c}, \quad (112)$$

где  $\eta_c = 0,73$

$$R_B = \frac{32,8}{8 \cdot 0,73} = 5,6 \text{ Ом.}$$

Длина горизонтального заземлителя

$$L = 5,325 \cdot 8 + 2 \cdot 5,$$

принимается глубина прокладки  $h = 70$  см, ширина заземлителя  $b = 4$  см.

Сопротивление горизонтального заземлителя равно:

$$R_{г.з.} = \frac{0,16\rho}{l} \cdot \ln \frac{2l^2}{hb}; \quad (113)$$

$$R_{г.з.} = \frac{0,16 \cdot 1,5 \cdot 10^4}{5260} \cdot \ln \frac{2 \cdot 5260^2}{70 \cdot 4} = 5,56 \text{ Ом.}$$

Действительное сопротивление горизонтального электрода:

$$R_\Gamma = \frac{R_{г.з.}}{\eta_c}, \quad (114)$$

$$R_\Gamma = \frac{5,56}{0,73} = 7,6 \text{ Ом.}$$

Сопротивление всего ЗУ:

$$R_3 = \frac{R_B \cdot R_\Gamma}{R_B + R_\Gamma}, \quad (115)$$

$$R_3 = \frac{5,6 \cdot 7,6}{5,6 + 7,6} = 3,2 < 4 \text{ Ом.}$$

Из этого следует, что число вертикальных стержней выбрано верно.

Вывод.

Рассчитано заземление производства. Заземление металлических рам дверей и ворот осуществляют приваркой их к внутреннему контуру заземления полосой стальной 4x25 мм. В качестве вертикальных заземлителей принимаются восемь стержней из круглой стали диаметром 16 мм и длиной 5 м, а горизонтального – полосовую сталь 40 x 4 мм<sup>2</sup>. Контур заземления размещается в ряд с расстоянием между заземлителями равно 5,75 м.

Выбранный к установке тип системы заземления – TN-C-S позволяет обеспечить необходимую электробезопасность обслуживающего персонала при производстве работ как в нормальном режиме, так и в аварийных ситуациях.

## 9 Молниезащита здания производства

Молниезащита здания производства рассчитывается согласно СО 153-34.122-2003 [6]. В целях электробезопасности необходимо выполнять требования главы 1.7 ПУЭ.

Размеры здания рассматриваемого производства составляют 48х30х8 м.

Для молниезащиты здания производства принимается двухстержневой металлический молниеотвод. Высота каждого молниеотвода составляет 35 м.

Высота вершин конусов молниеотводов:

$$h_0 = 0,85 \cdot h; \quad (116)$$

$$h_0 = 0,85 \cdot 35 = 29,8 \text{ м.}$$

Радиус защиты на уровне земли:

$$r_0 = (1,1 - 2 \cdot 10^{-3} \cdot h) \cdot h; \quad (117)$$

$$r_0 = (1,1 - 2 \cdot 10^{-3} \cdot 35) \cdot 35 = 36,1 \text{ м.}$$

Радиус защиты на высоте защищаемого сооружения  $h = 9 \text{ м}$ :

$$R_x = (1,1 - 2 \cdot 10^{-3} \cdot h) \cdot (h - 1,2 \cdot h_x); \quad (118)$$

$$R_x = (1,1 - 2 \cdot 10^{-3} \cdot 35) \cdot (35 - 1,2 \cdot 8) = 24,9 \text{ м.}$$

Высота и ширина средней части:

$$h_c = h_0 - (0,17 + 3 \cdot 10^{-4} \cdot h) \cdot (L - h); \quad (119)$$

$$R_{cx} = r_0 \cdot (h_c - h_x) / h_c; \quad (120)$$

где  $L = 48$  м – расстояние между двумя стержневыми молниеотводами.

$$h_c = (0,17 + 3 \cdot 10^{-4} \cdot 35) (48-35) = 27,5 \text{ м,}$$

$$R_{cx} = 36,1 \cdot (27,5 - 9) / 27,5 = 24,3 \text{ м.}$$

Возможная поражаемость защищаемого объекта:

$$N = [(B + 6 \cdot h_x) (A + 6 \cdot h_x) - 7,7 \cdot h_x^2] \cdot n \cdot 10^{-6}; \quad (121)$$

где  $A$  и  $B$  – габаритные размеры здания производства.

$$N = [(28 + 6 \cdot 8) (48 + 6 \cdot 8) - 7,7 \cdot 8^2] \cdot 7 \cdot 10^{-6} = 3,9.$$

.

Зона защиты двухстержневого молниеотвода представлена на рисунке 7.

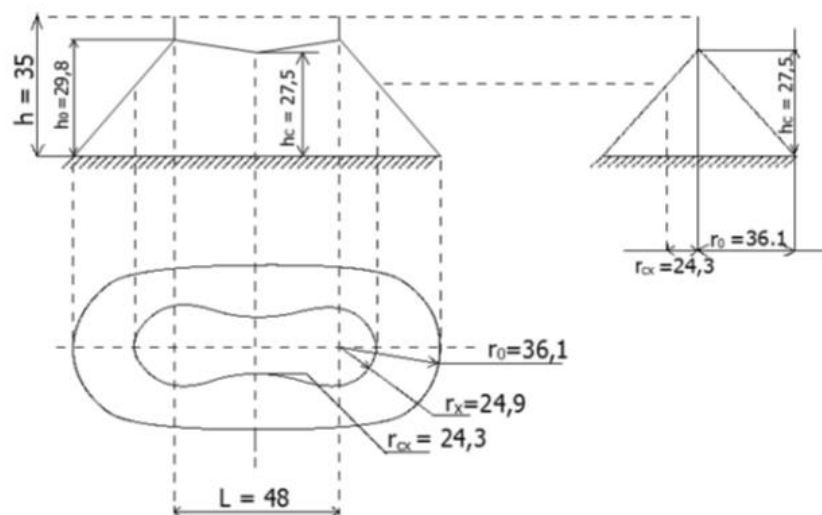


Рисунок 7 – Зона защиты двухстержневого молниеотвода

Вывод.

Рассчитана молниезащита здания производства. Принят тип защиты - двухстержневой металлический молниеотвод высотой 35 метров.



## Заключение

В ВКР спроектирована система электроснабжения производства СЦ «КогалымЭнергоНефть» ООО «ЛУКОЙЛ-ЭНЕРГОСЕТИ».

Обоснована актуальность разрабатываемой темы и представлена краткая характеристика объекта проектирования - производства СЦ «Когалым-ЭнергоНефть» ООО «ЛУКОЙЛ-ЭНЕРГОСЕТИ». Дан перечень электрооборудования производства СЦ «КогалымЭнергоНефть» ООО «ЛУКОЙЛ-ЭНЕРГОСЕТИ». Приведено описание процессов, которые выполняются на ремонтном участке производства, указано предназначение вспомогательных помещений производства. Проанализировав потребители производства можно сделать вывод, что они относятся ко II и III категории по надежности электроснабжения. Разработана схема внутривыпускной сети.

Рассчитаны электрические нагрузки производства диаграмм СЦ «КогалымЭнергоНефть» ООО «ЛУКОЙЛ-ЭНЕРГОСЕТИ» методом упорядоченных на стороне 0,4 кВ и на высоком напряжении. Рассчитано электрическое освещение производства. Для ремонтного участка, складского помещения, помещения трансформаторной подстанции и вентиляционной используются светильники со светодиодными лампами L-industry 115. Для вспомогательных помещений выбраны светильники L-office 25/3025/32/Д. Все светильники производства запитаны от шкафа ЩО, который подключается к КТП. Выбраны кабели для подключения светильников производства. Для аварийного освещения применены 10 светильников L-industry 115, которые в нормальном режиме также работают в качестве основного освещения.

Разработана система электроснабжения производства СЦ «Когалым-ЭнергоНефть» ООО «ЛУКОЙЛ-ЭНЕРГОСЕТИ». Выбрана комплектная трансформаторная подстанция 2КТП-400-10/0,4 с силовыми масляными трансформаторами ТМГ-400-10/0,4, мощностью 400 кВА. Для компенсации реактивной мощности выбираются две установки компенсации реактивной мощности УКМ 58-04-150-25 УЗ, производства компании ЗАО «Электроин-

тер», по одной установке на каждую секцию шин 0,4 кВ. Рассчитаны токи короткого замыкания. Выбраны кабельные линии к распределительным пунктам и отдельным электроприемникам осуществляется по расчетному току, а также автоматические выключатели в ТП и распределительных пунктах производства. В качестве распределительных пунктов принимаются шкафы ПР8501.

Выбраны кабельные линии производства. Рассчитано внешнее электро-снабжение производства. Для питания КТП рассматриваемого производства от сборных шин 10 кВ ГПП принимается кабель ААШв-10-3х95. Так как на ГПП предприятия в настоящее время установлены ячейки КРУ-104 с вакуумными выключателями ВВ/TEL-10-16/630 УЗ, то для подключения проектируемой КТП рассматриваемого производства также принимается ячейки КРУ-104 с вакуумными выключателями ВВ/TEL-10-16/630 УЗ, производства компании «Таврида электрик». Для установки на вводе в ТП применяем выключатель нагрузки ВНРп-10/400 УЗ в сочетании с предохранителем ПКТ103-10-20/50.

Разработана релейная защита участка силовой сети производства.

На трансформаторной подстанции рассчитан контур заземления, состоящий из восьми вертикальных электродов диаметром 16 мм длиной 5 м, забитых в грунт и соединенных стальной полосой 40х4, уложенной в траншее на глубине 0,7 м от уровня земли. Разработана молниезащита здания производства.

## Список используемых источников

1. Бакшаева Н.С. Расчёт электрических нагрузок, учебно-справочное пособие. – Киров: Издательство ВятГУ, 2008. – 129с.
2. ГОСТ 28249-93 «Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока до 1 кВ».
3. ГОСТ Р 50571.5.54-2013 Электроустановки низковольтные. Часть 5-54. Выбор и монтаж электрооборудования. Заземляющие устройства, защитные проводники и защитные проводники уравнивания потенциалов.
4. Защита электроустановок от прямых ударов молнии: Методические указания к курсовому и дипломному проектированию / НГТУ; Сост.: Т.М. Щеголькова, Е.И. Татаров и др. Н. Новгород, 2001. – 11с.
5. Защитное заземление электроустановок: Методические указания к курсовому и дипломному проектированию / НГТУ; Сост.: Т.М. Щеголькова, Е.И. Татаров и др. Н. Новгород, 2001. – 19с.
6. Минский электротехнический завод им. В.И. Козлова. Силовые трансформаторы ТМГ-400-10/0,4 <http://metz.by/products/catalog/20.html>
7. Неклепаев Б.Н., Крючков И.П. Электрическая часть электростанций и подстанций. Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования. Учебное пособие для вузов. М.: Энергоатомиздат, 1989.-608 с.
8. НТП ЭПП 94 «Проектирование электроснабжения промышленных предприятий»
9. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей
10. Правила устройства электроустановок. Главгосэнергонадзор РФ. М.: ЗАО «Энергосервис», 2012. 607 с.
11. РД 34.03.350-98 «Перечень помещений и зданий энергетических объектов РАО «ЕЭС России» с указанием категорий по взрывопожарной и пожарной опасности»

12. Рожин А. Н., Бакшаева Н. С. Внутрицеховое электроснабжение. Учебное пособие для выполнения курсового и дипломного проектов. – Киров: Изд-во ВятГУ, 2006. – 258 с.
13. РТМ 36.18.32.4-92 Руководящие указания по расчету электрических нагрузок»
14. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95\* (с Изменением N 1)
15. СО 153-34.21.122-2003 Инструкцию по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций
16. Справочная книга для проектирования электрического освещения /Г. М. Кноринг, И. М. Фадин, В.Н.Сидоров – 2-е изд. – М.: Энергоатомиздат. Санкт-Петербургское отделение 1992. - 448с
17. Светодиодные светильники компании ООО «Ледел» <http://ledel.ru/>
18. Сайт компании ЗАО «Электроинтер». Установки компенсации реактивной мощности [http://www.electrointer.ru/catalog\\_item/ukm58p/](http://www.electrointer.ru/catalog_item/ukm58p/)
19. Шеховцов, В.П. Расчет и проектирование схем электроснабжения: методическое пособие для курсового проектирования / В.П. Шеховцов. - М.: ФОРУМ: ИНФРА - М., 2003. - 214с.
20. Control Design - Technology Report: I/O Terminal Blocks & Power Supplies 2018. Putman Media. — 22 p.
21. Kharchenko V., Vasant P. Renewable Energy and Power Supply Challenges for Rural Regions. Hershey, USA: IGI Global, 2019. — 459 p.
22. Kobayashi Haruo, Nabeshima Takashi. Handbook of Power Management Circuits. Pan Stanford, 2016. — 389 p.
23. Mazur D., Golebiowski M., Korkosz M. (eds.) Analysis and Simulation of Electrical and Computer Systems. New York: Springer, 2017. — 444 p.
24. Patin N. Power Electronics Applied to Industrial Systems and Transports, Volume 3: Switching Power Supplies. New York: ISTE Press Ltd, 2015. — 168 p.