

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

Институт химии и энергетики

(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»

(наименование)

13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

(код и наименование направления подготовки, специальности)

«Электроснабжение»

(направленность (профиль) / специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему: Проектирование систем электроснабжения подразделения БК-2
ООО «Тольяттикаучук»

Студент

В.С. Безгин

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент В.А. Шаповалов

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

Консультант

к.п.н., доцент А.В. Кириллова

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

Тольятти 2021

Аннотация

В выпускной квалификационной работе производилось проектирование для бесперебойного питания производства №2 по производству и переработке бутилкаучука, принадлежащего фирме ООО «Тольяттикаучук».

Для достижения поставленной цели были проделаны следующие шаги: рассчитаны ожидаемые нагрузки; выбраны силовые трансформаторы и компенсирующие устройства, подходящие по типу и мощности; выбраны кабели соответствующего сечения и марки; произведен расчёт ударных токов и токов короткого замыкания, подобраны соответствующие автоматические выключатели; рассчитана релейная защита; произведена проверка автоматических выключателей по полученным данным токов короткого замыкания и ударного тока.

Пояснительная записка содержит 51 лист, включая 12 рисунки и 8 рисунков. Графическая часть выполнена на шести чертежах формата А1.

Abstract

The title of the project is Designing the power supply system of BK-2 subdivision of LLC Tolyattikauchuk.

The graduation project consists of an explanatory note on 51 pages, introduction, including 7 figures, 12 tables, the list of 21 sources, including 5 foreign sources, and the graphic part on 6 A1 sheets.

The aim of the work is to design a reliable and uninterrupted power supply system BK-2.

The graduation work may be divided into several logically connected parts which are calculation of expected electrical loads, selection of luminaires and design of room lighting, selection of power transformers with a compensating device, selection of cable cross-section and brand, selection of circuit breakers and current transformers, calculation of short-circuit currents, analysis of selected equipment for resistance to calculated short-circuit currents, calculation of relay protection for lead-in and sectional switches.

It was also taken into account that the facility is explosive and belongs to the first category of power supply; special requirements are required to ensure reliable and uninterrupted power supply.

Overall, the results suggest that that a reliable and uninterrupted power supply of the selected enterprise is provided considering all the necessary requirements.

The work is of interest for wide circle of readers.

Содержание

Введение.....	5
1 Данные объекта.....	7
2 Расчет электрических нагрузок.....	9
3 Расчет освещения и выбор светильников.....	16
4 Выбор силовых трансформаторов и компенсирующих устройств.....	23
4.1 Выбор компенсирующих устройств.....	23
4.2 Выбор силовых трансформаторов.....	25
5 Выбор оборудования.....	27
5.1 Выбор сечения проводников распределительной сети.....	27
5.2 Выбор автоматических выключателей.....	29
5.3 Выбор трансформаторов тока.....	33
6 Расчёт релейной защиты автоматических выключателей.....	34
7 Расчёт токов короткого замыкания.....	38
7.1 Расчёт токов трехфазного короткого замыкания.....	39
7.2 Расчет токов двухфазного короткого замыкания.....	43

8	Проверка	выбранных	аппаратов	
				47
8.1	Проверка		отключающей	
	способности			47
8.2	Проверка	на	динамическую	
	устойчивость			47
	Заключение			49
	Список		используемых	
	источников			50

Введение

Электроэнергетика является одним из наиболее весомых секторов экономики, которая вмещает в себя целую системы финансовых отношений Российской Федерации. Главными покупателями электричества считаются промышленные предприятия, которые обеспечивают подъем, развитие и укрепление экономики РФ. Для поддержания требуемого режима работы предприятия нужно использовать рациональные схемы электроснабжения обеспечивая надёжное и бесперебойное функционирование предприятия.

Ведущей отраслью города Тольятти является химическая промышленность. Электрооборудование в данной сфере требует особых условий по электроснабжению. «Согласно ПУЭ потребители электрической энергии условно раздены на три категории, в зависимости от их важности» [10]. В данном случае речь идёт о том, насколько надёжным должно быть энергоснабжение потребителя с учётом всех возможных факторов. «К первой категории электроснабжения относятся наиболее важные потребители, перерыв в электроснабжении которых может привести к несчастным случаям, крупным авариям, нанесению большого материального ущерба по причине выхода из строя целых комплексов оборудования, взаимосвязанных систем. К таким потребителям относятся: горнодобывающая, химическая промышленность и др. опасные производства» [8].

Одним из ведущих предприятий химической промышленности является ООО «Тольяттикаучук», принадлежащий компании ПАО «Татнефть». Основная деятельность предприятия — производство синтетических каучуков различных марок, который является сырьем для шин и резинотехнических изделий. «Входит в 10-ку крупнейших экспортеров Самарской области» [13]. В структуре предприятия шесть основных производств по выпуску манометров, синтетических каучуков промежуточных продуктов, а также два вспомогательных производства по обеспечению энергоресурсами и ремонту оборудования.

Цель выпускной квалификационной работы спроектировать систему электроснабжения подразделения БК-2 ООО «Тольяттикаучук».

Для выполнения цели следует выполнить расчёт активных и реактивных нагрузок, а также полной мощности и токовой нагрузки. Рассчитать освещение для помещений при помощи программы «DIALux Light». Выбрать компенсирующее устройство и подобрать тип, мощность и количество силовых трансформаторов. Выбрать тип кабелей и их сечение, произвести выбор автоматических выключателей, а также выбор трансформаторов тока. Рассчитать релейную защиту для вводных автоматических выключателей и для секционного автоматического выключателя с токовыми уставками.

Составить расчетную схему с точками короткого замыкания, рассчитать токи двухфазного и трехфазного короткого замыкания, а также ударные токи, по полученным данным проверить оборудование на устойчивость к этим токам.

1 Данные объекта

Объектом проектирования ВКР выбран производство компании ООО «Тольяттикаучук» - одно из крупнейших предприятий нефтехимического комплекса России, расположенного в городе Тольятти Самарской области. Расположение можно увидеть на рисунке 1.



Рисунок 1 – Расположение ООО «Тольяттикаучук»

На территории завода расположены четыре ГПП на 110 кВ, которые запитывают распределительные подстанции 6 кВ, а от них питаются производства 0,4 кВ.

На производстве по переработке бутил каучука №2 основную часть электроприемников составляют насосы и вентиляторы, являющиеся асинхронными двигателями. Технический процесс в данном цеху является

непрерывным, производится изобутилен высокой чистоты под воздействием высоких температур. Изобутилен применяется для создания жидкого топлива с высоким октановым числом. При контакте с воздухом образуется смесь которая может воспламениться или взорваться при большей концентрации. По причине того, что во время технологического процесса происходит выделение опасных химических соединений и перерывы в электроснабжении могут привести к крупным авариям и человеческим жертвам. Система электроснабжения должна проектироваться с учётом пожароопасной и взрывоопасной особенности технологического процесса.

Вывод: объект является взрывоопасным и относится к первой категории электроснабжения, для обеспечения надежного и бесперебойного питания требуется выполнение особых требований.

2 Расчёт электрических нагрузок

На производстве БК-2 отсутствуют электроприемники с импульсным режимом работы и нет случайных графиков нагрузки.

Щит силового управления является наименьшим участком сети, составляется таблица, где указываются все электроприемники с их паспортными данными. Расчёт выполняется в следующем порядке:

1. Из справочных данных берутся значения:

- $K_{и}$ коэффициент использования;
- $P_{н}$ номинальная мощность электроприемника;
- $\cos \varphi$ для определения $tg \varphi$.

2. Рассчитывается средняя активная нагрузка по формуле 1:

$$P_c = K_{и} \cdot P_{н}, \quad (1)$$

«где P_c – средняя активная нагрузка, кВт;

$K_{и}$ – коэффициент использования электрооборудования, из справочных данных;

$P_{н}$ – мощность одного электроприемника, кВт» [11].

3. По формуле 2 рассчитывается реактивная нагрузка:

$$Q_c = K_{и} \cdot P_{н} \cdot tg \varphi, \quad (2)$$

«где Q_c – средняя реактивная нагрузка, квар;

$K_{и}$ – коэффициент использования электрооборудования;

$tg \varphi$ – коэффициент мощности» [11].

4 По формуле 3 вычисляется эффективное количество электроприемников:

$$n_{\text{э}} = \frac{2 \cdot \sum P_{\text{H}}}{P_{\text{H.наибольш}}}. \quad (3)$$

5. Значение величины m влияет на метод расчёта и находится из формулы 4:

$$m = \frac{P_{\text{H.наиб}}}{P_{\text{H.наим}}}, \quad (4)$$

где $P_{\text{H.наиб}}$ – активная мощность самого большого электроприемника, кВт;

$P_{\text{H.наим}}$ – активная мощность наименьшего электроприемника, кВт.

Если $m < 3$, то $n_{\text{э}}$ принимается равным количеству электроприемников. В случае, когда $m > 3$, то $n_{\text{э}}$ находится по формуле 3.

6. Активная нагрузка рассчитывается по формуле 5:

$$P_{\text{P}} = K_{\text{МА}} \cdot \sum P_{\text{C}}, \quad (5)$$

где $K_{\text{МА}}$ – «коэффициент максимума на шинах низкого напряжения цеховых трансформаторов и для магистральных шинопроводов напряжением до 1 кВ;

$\sum P_{\text{C}}$ – расчётная нагрузка группы электроприемников» [11].

7. По формуле 6 рассчитывается реактивная мощность:

$$Q_{\text{P}} = K_{\text{МР}} \cdot \sum Q_{\text{C}}, \quad (6)$$

где $K_{\text{МР}}$ – коэффициент максимума для реактивной мощности, зависит от значения $n_{\text{э}}$.

8. По формуле 7 рассчитывается полная мощность:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}. \quad (7)$$

9. По формуле 8 находится токовая расчётная нагрузка:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_H}. \quad (8)$$

Произведем подробный расчёт, а в качестве примера выберем насос №22/1 ВА-200-М2, номинальная мощность которого равна $P_H = 37$ кВт, $K_H = 0,7$; $\cos \varphi = 0,88$; $\operatorname{tg} \varphi = 0,54$.

Рассчитаем активную нагрузку выбранного насоса по формуле 1:

$$P_c = 0,7 \cdot 37 = 25,9 \text{ кВт.}$$

Рассчитаем реактивную нагрузку по формуле (2):

$$Q_c = 0,7 \cdot 37 \cdot 0,54 = 13,98 \text{ квар.}$$

Результаты для остальных электроприемников внесём в таблицу (1) и (2).

Таблица 1 – Расчёт нагрузок для первого ввода щита силового управления

Подгруппа	Наименование и номер технол. оборуд	Марка электрооборудования	P, кВт	cosφ	m	K _И	tgφ	Средняя нагрузка		n _Э	K _{МА} /K _{МР}	Расчетная нагрузка			I _р , А
								P _С , кВт	Q _С , квар			P _р , кВт	Q _р , квар	S _р , кВА	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Насос	Н 22/1	ВА-200-М2	37	0,88		0,7	0,54	25,90	13,98			31,08	15,52	34,74	51,09
Насос	Н 48/1	ВАО-52-2	13	0,9		0,7	0,48	9,10	4,41			10,92	4,89	11,97	17,60
Насос	Н 48/5	ВАО-72-2	30	0,89		0,7	0,51	21,00	10,76			25,20	11,94	27,89	41,01
Насос	Н 53/1	ВАО-72-2	30	0,89		0,7	0,51	21,00	10,76			25,20	11,94	27,89	41,01
Насос	Н 54	ВАО-72-2	30	0,89		0,7	0,51	21,00	10,76			25,20	11,94	27,89	41,01
Насос	Н 55/1	АИМР-180S-2	22	0,86		0,75	0,59	16,50	9,79			19,80	10,87	22,59	33,22
Насос	Н 69/1	ВАО-62-2	17	0,8		0,75	0,75	12,75	9,56			15,30	10,61	18,62	27,38
Вентсистема	ПС-1	В-180М-8	15	0,82		0,75	0,70	11,25	7,85			13,50	8,72	16,07	23,63
Вентсистема	ПС-2	ВА-200М-6	22	0,7		0,75	1,02	16,50	16,83			19,80	18,69	27,22	40,04
Вентсистема	ПС-3/1	АО2-42-4	5,5	0,77		0,75	0,83	4,13	3,42			4,95	3,79	6,24	9,17
Вентсистема	ПС-4/1	АО2-52-6	7,5	0,77		0,75	0,83	5,63	4,66			6,75	5,17	8,50	12,51
Вентсистема	ПС-6/1	АО2-42-4	5,5	0,77		0,75	0,83	4,13	3,42			4,95	3,79	6,24	9,17
Вентсистема	ПС-7/1	4А-100L-4	4	0,7		0,75	1,02	3,00	3,06			3,60	3,40	4,95	7,28
Вентсистема	ПС-8/1	4А-100L-4	4	0,7		0,75	1,02	3,00	3,06			3,60	3,40	4,95	7,28
Вентсистема	ПС-9/1	4А-100L-4	4	0,7		0,75	1,02	3,00	3,06			3,60	3,40	4,95	7,28
Вентсистема	АВ-1	ВА-200М-6	22	0,7		0,75	1,02	16,50	16,83			19,80	18,69	27,22	40,04
Вентсистема	ВС-2/1	АИР-90L-4	2,2	0,77		0,75	0,83	1,65	1,37			1,98	1,52	2,49	3,67
Вентсистема	ВС-3/1	АИМУ-90L-4	2,2	0,77		0,75	0,83	1,65	1,37			1,98	1,52	2,49	3,67
Вентсистема	АВ3-21/1	ВАСО-16-34-24	90	0,77		0,75	0,83	67,50	55,93			81,00	62,08	102,06	150,0
эл.задвижка	Э/3-7/1	АИМ-100S-4	3	0,81	30	0,2	0,72	0,60	0,43			0,72	0,48	0,87	1,27
эл.задвижка	Э/3-8/1	2В-100L-4	4	0,8	m>3	0,2	0,75	0,80	0,60	8	1,2/1,11	0,96	0,67	1,17	1,72
Итого на ввод 1			369,9			0,72		266,58	191,92			319,89	213,03	384,33	565,2

Таблица 2 – Расчёт нагрузок для первого ввода щита силового управления

Подгруппа	Наименование и номер технол. оборуд	Марка электрооборудования	P, кВт	cosφ	m	K _И	tgφ	Средняя нагрузка		n _Э	K _{МА} /K _М	Расчетная нагрузка			I _р , А
								P _с , кВт	Q _с , квар			P _р , кВт	Q _р , квар	S _р , кВА	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	1	2	3
Насос	Н 22/2	КО-31-2	25	0,88		0,7	0,54	17,50	9,45			21,00	9,45	23,03	33,86
Насос	Н 22/3	ВАО-71-2	22	0,9		0,7	0,48	15,40	7,46			17,09	7,46	18,65	27,43
Насос	Н 25/1	ВАО-42-4	5,5	0,88		0,7	0,54	3,85	2,08			4,27	2,08	4,75	6,99
Насос	Н 25/2	ВАО-42-4	5,5	0,88		0,7	0,54	3,85	2,08			4,27	2,08	4,75	6,99
Насос	Н 25/3	ВАО-42-4	5,5	0,88		0,7	0,54	3,85	2,08			4,27	2,08	4,75	6,99
Насос	Н 48/2	ВАО-52-2	13	0,9		0,75	0,48	9,75	4,72			10,82	4,72	11,81	17,36
Насос	Н 48/6	ВАО-71-2	22	0,9		0,75	0,48	16,50	7,99			18,32	7,99	19,98	29,39
Насос	Н 53/2	ВАО-72-2	30	0,89		0,75	0,51	22,50	11,53			24,98	11,53	27,51	40,45
Насос	Н 55/2	АИМП-180S-2	22	0,86		0,75	0,59	16,50	9,79			18,32	9,79	20,77	30,54
Насос	Н 69/2	ВАО-62-2	17	0,8		0,75	0,75	12,75	9,56			14,15	9,56	17,08	25,12
Насос	Н 107	КО-41-6	32	0,83		0,75	0,67	24,00	16,13			26,64	16,13	31,14	45,80
Вентсистема	ПС-1	В-180М-8	15	0,82		0,75	0,70	11,25	7,85			12,49	7,85	14,75	21,69
Вентсистема	ПС-3/2	АО2-42-4	5,5	0,77		0,75	0,83	4,13	3,42			4,58	3,42	5,71	8,40
Вентсистема	ПС-4/2	АО2-52-6	7,5	0,77		0,75	0,83	5,63	4,66			6,24	4,66	7,79	11,46
Вентсистема	ПС-5/2	АОЛ-21-2	0,4	0,77		0,75	0,83	0,30	0,25			0,33	0,25	0,42	0,61
Вентсистема	ПС-6/2	АО2-42-4	5,5	0,77		0,75	0,83	4,13	3,42			4,58	3,42	5,71	8,40
Вентсистема	ПС-7/2	АО2-41-4	4	0,7		0,75	1,02	3,00	3,06			3,33	3,06	4,52	6,65
Вентсистема	ПС-8/2	4А-100L-4	4	0,7		0,75	1,02	3,00	3,06			3,33	3,06	4,52	6,65
Вентсистема	ПС-9/2	АО2-41-4	4	0,7		0,75	1,02	3,00	3,06			3,33	3,06	4,52	6,65
Вентсистема	ВС-1	ВАО-71-6	17	0,82		0,75	0,70	12,75	8,90			14,15	8,90	16,72	24,59
Вентсистема	ВС-2/2	ВАО-31-4	2,2	0,78		0,75	0,80	1,65	1,32			1,83	1,32	2,26	3,32
Вентсистема	ВС-3/2	АИМУ-90L-4	2,2	0,77		0,75	0,83	1,65	1,37			1,83	1,37	2,29	3,36
Вентсистема	АВЗ-21/2	ВАСО-16-34-24	90	0,77		0,75	0,83	67,50	55,93			74,93	55,93	93,50	137,50
эл.задвижка	Э/З-7/2	АИМ-100L-4	4	0,88		0,2	0,54	0,80	0,43			0,89	0,43	0,99	1,45
эл.задвижка	Э/З-8/2	АИММ-100S-4	3	0,82		0,2	0,70	0,60	0,42			0,67	0,42	0,79	1,16
эл.задвижка	Э/З-9/3	ВАОА-13-4	1,5	0,88		0,2	0,54	0,30	0,16			0,33	0,16	0,37	0,54
эл.задвижка	Э/З-10/1	АИМА-80В-4	1,5	0,8	m > 3	0,2	0,75	0,30	0,23		1,2/1,11	0,33	0,23	0,40	0,59
Итого на ввод 2			366,8		60	0,73		266,43	180,40	8		295,73	200,24	357,15	525,22

Полная мощность единичных насосов будет вычисляться по формуле 9:

$$S_p = P_p \cdot \cos \varphi \quad (9)$$

По формуле 10 будет находиться расчётный ток:

$$I_p = P_p \cdot 3 \cdot U_{НОМ} \cdot \cos \varphi \cdot \eta \quad (10)$$

Приведём пример расчёта насоса Н-9/2 2В-280S-4. Исходя из справочных данных, его номинальная мощность составляет 110 кВт, $\cos \varphi = 0,9$; коэффициент полезного действия $\eta = 0,9$.

По формуле 9 рассчитаем полную мощность:

$$S_p = \frac{110}{0,9} = 122$$

По формуле 10 найдем расчётный ток:

$$I_p = \frac{110}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 0,9 \cdot 0,9} = 199,7$$

Аналогичным методом рассчитаем оставшиеся электроприемники и составим таблицы 3 и 4, в которых будет приведены суммарные данные для 1 и 2 секции.

Таблица 3 – Расчёт нагрузок на 1 секции

Подгруппа	Наименование и № технол. оборуд.	Наименование, тип, марка электрооборудования	P_H , кВт	$\cos\varphi$	$tg\varphi$	Q,кВар	КПД	S_p , кВА	I_p , А
Насос	Н-9/1	2В-280S-4	110	0,9	0,48	53,3	0,9	122	199,7
Насос	Н-9/а1	2В-280S-4	110	0,9	0,48	53,3	0,9	122	199,7
Насос	Н-10/1	2В-280S-4	110	0,9	0,48	53,3	0,9	122	199,7
Насос	Н-29/1	ВАО-101-4	132	0,88	0,54	71,2	0,9	150	245,1
Насос	Н-29/3	ВАО-315S-4	132	0,88	0,54	71,2	0,9	150	245,1
Насос	Н-29/5	ВАО2-280S-4	132	0,9	0,48	63,9	0,9	147	239,7
Σ			726			579		813	1329
Сумма на 1 секцию								1197,7	1894

Таблица 4 – Расчёт нагрузок на 2 секции

Подгруппа	Наименование и № технол. оборуд.	Наименование, тип, марка электрооборудования	P_H , кВт	$\cos\varphi$	$tg\varphi$	Q,кВар	КПД	S_p , кВА	I_p , А
Насос	Н-9/2	2В-280S-4	110	0,9	0,48	53,3	0,9	122	199,7
Насос	Н-9/а2	2В-280S-4	110	0,9	0,48	53,3	0,9	122	199,7
Насос	Н-10/2	2В-280S-4	110	0,9	0,48	53,3	0,9	122	199,7
Насос	Н-29/2	ВАО-315S-4	132	0,88	0,54	71,2	0,9	150	245,1
Насос	Н-29/4	ВАО-315S-4	132	0,88	0,54	71,2	0,9	150	245,1
Насос	Н-29/6	ВАО2-280S-4	132	0,9	0,48	63,9	0,9	147	239,7
Σ			726					813	1329
Сумма на 2 секцию								1170,5	1854

Вывод: рассчитаны активные и реактивные нагрузки, а также рассчитана полная мощность и токовая расчётная нагрузка, данные для каждого двигателя сведены в таблицы.

3 Расчёт освещения и выбор светильников

Есть много аспектов, влияющих на функциональность персонала, один из них это освещенность рабочего пространства. Рационально верное спроектированное освещение поможет избежать или ликвидировать возможные травмоопасные случаи среди персонала. «Для освещения помещений следует использовать, как правило, наиболее экономичные разрядные лампы. Использование ламп накаливания для общего освещения допускается только в случае невозможности или технико-экономической нецелесообразности использования разрядных ламп» [12].

Проектирование освещения будет производиться в программе: «DIALux Light».

Для расчётов потребуются такие параметры как: высота ширина и длина помещения. Нижеприведённые данные нормируются ГОСТ Р 55710-2013 «Освещение рабочих мест внутри зданий. Нормы и методы измерений» [6].

По формуле 11 будет рассчитываться индекс помещения:

$$I = \frac{S}{(H1 - h2) \cdot (A + B)}, \quad (11)$$

где S – это площадь помещения;

$H1$ – высота цеха минус один метр;

$h1$ – высота на которой расположена рабочая поверхность, равна 0,8м;

A – длина помещения;

B – ширина помещения.

По формуле 12 находится необходимо количество светильников для помещения:

$$N = \frac{E \cdot S \cdot K_3}{\eta \cdot n \cdot \Phi_{л}}, \quad (12)$$

«где E – необходимое горизонтальное освещение, лк;

η – коэффициент использования;

n – лампы в светильнике, шт;

$\Phi_{л}$ – световой поток от одной лампы, лм» [3]

По формуле 13 рассчитывается активная мощность светильников:

$$P_{осв} = N \cdot n \cdot P_{л} \quad (13)$$

где $P_{л}$ – мощность одного светильника.

По формуле 14 рассчитывается реактивная мощность:

$$Q_{осв} = P_{осв} \cdot \operatorname{tg} \varphi \quad (14)$$

По формуле 15 рассчитывается полная мощность:

$$S = \sqrt{P_{осв}^2 + Q_{осв}^2} \quad (15)$$

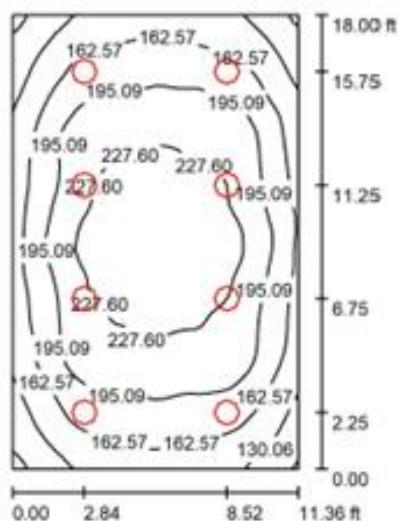
При расчете освещения помещений использовались светильники:

«- SLICK.OPL LED 50 Ex 5000K – для помещений менее 8 метров;

- ATLAS LED 100 Ex – для помещений от 8 метров и больше» [2].

Для проектирования освещения использовалась система общего равномерного освещения и не учитывается расположения оборудования в помещении.

Ниже приведены результаты помещений с помощью приложения «DIALux Light»:



Высота помещения: 8.800 ft
 Коэффициент эксплуатации: 0.80

Значения в Footcandles, Масштаб
 1:71

Поверхность	ρ [%]	$E_{\text{ср}}$ [fc]	E_{min} [fc]	E_{max} [fc]	$E_{\text{min}} / E_{\text{ср}}$
Рабочая плоскость	/	188	89	248	0.472
Полы	10	175	93	234	0.533
Потолок	50	17	11	21	0.676
Стенки (4)	30	65	11	183	/

Рабочая плоскость:

Высота: 0.900 ft
 Растр: 64 x 64 Точки
 Краевая зона: 0.000 ft

Соотношение освещенностей (по LG7): Стенки / Рабочие плоскости: 0.341, Потолок / Рабочая плоскость: 0.090.

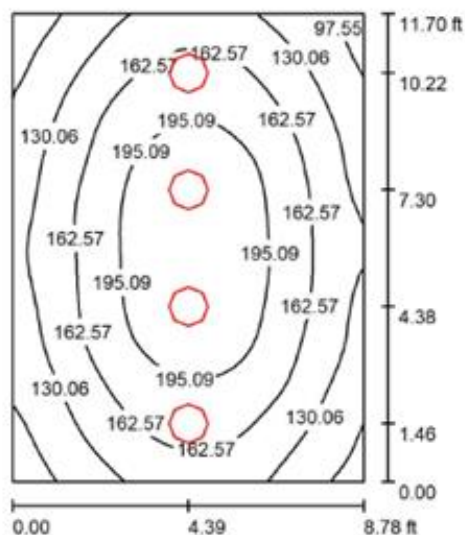
Число точек, имеющих менее 400 люкс (для IEQ-7): 0.00%.

Ведомость светильников

№	Шт.	Обозначение (Поправочный коэффициент)	Φ (Светильник) [lm]	Φ (Лампы) [lm]	P [W]
1	8	LIGHTINGTECHNOLOGIES 4585000060 ATLAS LED 100 Ex (1.000)	9000	9000	101.0
			Всего: 72000	Всего: 72000	808.0

Удельная подсоединенная мощность: 3.95 W/sq ft = 0.21 W/sq ft/10 fc (Поверхность основания: 204.48 sq ft)

Рисунок 2– Освещенность «Насосного отделения»



Высота помещения: 8.800 ft,
Коэффициент эксплуатации: 0.80

Значения в Footcandles, Масштаб
1:46

Поверхность	ρ [%]	E_{cp} [fc]	E_{min} [fc]	E_{max} [fc]	E_{min} / E_{cp}
Рабочая плоскость	/	160	83	226	0.521
Полы	10	145	83	195	0.575
Потолок	50	14	9.53	18	0.683
Стенки (4)	30	58	8.94	391	/

Рабочая плоскость:

Высота: 0.800 ft
Растр: 32 x 32 Точки
Краяевая зона: 0.000 ft

Соотношение освещенностей (по LG7): Стенки / Рабочие плоскости: 0.362, Потолок / Рабочая плоскость: 0.087.

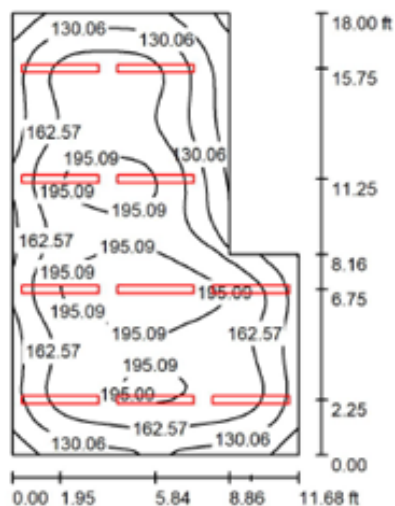
Число точек, имеющих менее 400 люкс (для IEQ-7): 0.00%.

Ведомость светильников

№	Шт.	Обозначение (Поправочный коэффициент)	Φ (Светильник) [lm]	Φ (Лампы) [lm]	P [W]
1	4	LIGHTINGTECHNOLOGIES 4585000060 ATLAS LED 100 Ex (1.000)	9000	9000	101.0
			Всего: 36000	Всего: 36000	404.0

Удельная подсоединенная мощность: 3.93 W/sq ft = 0.25 W/sq ft/10 fc (Поверхность основания: 102.73 sq ft)

Рисунок 3– Освещенность катализаторного отдела



Высота помещения: 4.700 ft,
 Коэффициент эксплуатации: 0.80

Значения в Footcandles, Масштаб
 1:71

Поверхность	ρ [%]	E_{cp} [fc]	E_{min} [fc]	E_{max} [fc]	E_{min} / E_{cp}
Рабочая плоскость	/	162	60	219	0.368
Полы	10	146	62	192	0.423
Потолок	50	40	18	83	0.460
Стенки (6)	30	95	32	228	/

Рабочая плоскость:

Высота: 0.900 ft
 Растр: 64 x 64 Точки
 Краевая зона: 0.000 ft

Соотношение освещенностей (по LG7): Стенки / Рабочие плоскости: 0.605, Потолок / Рабочая плоскость: 0.246.

Число точек, имеющих менее 400 люкс (для IEQ-7): 11.62%.

Ведомость светильников

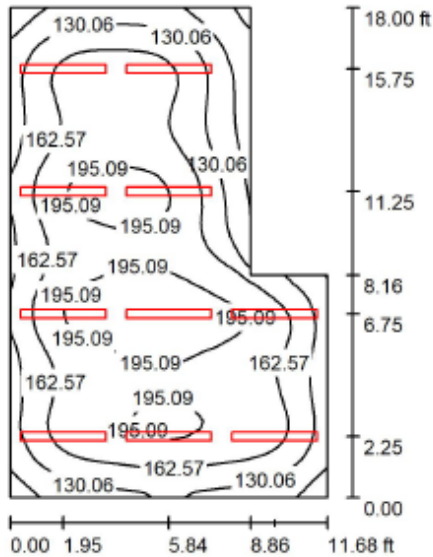
№	Шт.	Обозначение (Поправочный коэффициент)	Φ (Светильник) [lm]	Φ (Лампы) [lm]	P [W]
1	10	LIGHTINGTECHNOLOGIES 1631000360 SLICK.OPL LED 50 Ex 5000K (1.000)	5801	5801	49.0
Всего:			58010	58010	490.0

Удельная подсоединенная мощность: 2.68 W/sq ft = 0.17 W/sq ft/10 fc (Поверхность основания: 182.50 sq ft)

Рисунок 4– Освещенность компрессорного отделения



Оператор
Телефон
Факс
Электронная почта



Высота помещения: 4.700 ft,
Коэффициент эксплуатации: 0.80

Значения в Footcandles, Масштаб
1:71

Поверхность	ρ [%]	E_{cp} [fc]	E_{min} [fc]	E_{max} [fc]	E_{min} / E_{cp}
Рабочая плоскость	/	162	60	219	0.368
Полы	10	146	62	192	0.423
Потолок	50	40	18	83	0.460
Стенки (6)	30	95	32	228	/

Рабочая плоскость:

Высота: 0.900 ft
Растр: 64 x 64 Точки
Краявая зона: 0.000 ft

Соотношение освещенностей (по LG7): Стенки / Рабочие плоскости: 0.605, Потолок / Рабочая плоскость: 0.246.

Число точек, имеющих менее 400 люкс (для IEQ-7): 11.62%.

Ведомость светильников

№	Шт.	Обозначение (Поправочный коэффициент)	Φ (Светильник) [lm]	Φ (Лампы) [lm]	P [W]
1	10	LIGHTINGTECHNOLOGIES 1631000360 SLICK.OPL LED 50 Ex 5000K (1.000)	5801	5801	49.0
			Всего: 58010	Всего: 58010	490.0

Удельная подсоединенная мощность: 2.68 W/sq ft = 0.17 W/sq ft/10 fc (Поверхность основания: 182.50 sq ft)

Рисунок 5– Освещенность РП

Другие помещения имеют такие же размеры, и рассчитываются аналогично. Итоговые данные отображены в таблице 5.

Таблица 5 – Данные расчёта освещения

Помещение	$E_{\min} / E_{\text{ср}}$	$P, \text{кВт}$	$Q, \text{квар}$	$S, \text{кВА}$
РП-1/2	162/60	0,808	0,1616	0,82
Насосная 1/2	80/257	1,62	0,324	1,65
Компрессорное отделение	158/62	0,196	0,0392	0,20
Трансформаторная 1/2	162/60	1,212	0,2424	1,24
Вентиляционная система 1/2	192/80	0,196	0,0392	0,20
Операторная	165/71	0,404	0,0808	0,41
Итого		4,436	0,8872	4,52

Вывод: произведен выбор взрывозащищенных светильников, для освещения взрывоопасных зон всех классов помещений. Расчёт освещения для помещений предприятия производился с помощью программы «DIALux Light» с учётом того, что приводящаяся работа не требует точных действий или контроля каких-либо параметров. Данные расчётов приведены на 5 рисунках.

4 Выбор силовых трансформаторов и компенсирующих устройств

4.1 Выбор компенсирующих устройств

«Реактивная мощность негативно влияет на работу энергосистемы, увеличиваются потери в сетях, падение напряжения» [16]. Для решения этих проблем используются конденсаторные батареи, сокращается реактивная мощность и достигается $\cos \varphi = 0,92 - 0,95$. [17]

По формуле (16) рассчитаем $\cos \varphi$ для каждой секции.

$$\cos \varphi = \frac{P_p}{S}, \quad (16)$$

где P_p – суммарная активная нагрузка на секцию p ,

S – полная мощность на секцию.

Расчёт $\cos \varphi$ для 1 секции:

$$\cos \varphi = \frac{1045,89}{1197,66} = 0,87.$$

Расчёт $\cos \varphi$ для 2 секции:

$$\cos \varphi = \frac{1021,73}{1170,48} = 0,87.$$

Из расчёта видно, что $\cos \varphi$ меньше 0,92, и не удовлетворяет требованиям системы, значит необходима компенсация реактивной мощности.

Рассчитаем полную мощность с учетом компенсирующей установки по формуле 17:

$$S_n = \sqrt{P_p^2 + (Q_p - Q_{KB})^2}, \quad (17)$$

где P_p – суммарная активная нагрузка на секцию n,

Q_p – суммарная реактивная нагрузка на секцию n,

Q_{KB} – реактивная нагрузка конденсаторной батареи.

Полная мощность с учетом компенсирующей установки для 1 секции:

$$S_I = \sqrt{1045,89^2 + (579,27 - 150)^2} = 1130,56$$

Полная мощность с учетом компенсирующей установки для 2 секции:

$$S_{II} = \sqrt{1021,73^2 + (566,49 - 150)^2} = 1103,36$$

Рассчитаем $\cos \varphi$ с учетом компенсирующего устройства по формуле 18:

$$\cos \varphi = \frac{P_p}{S_n} \quad (18)$$

$\cos \varphi$ для 1 секции с учетом компенсирующего устройства:

$$\cos \varphi = \frac{1045,89}{1130,56} = 0,925.$$

$\cos \varphi$ для 2 секции с учетом компенсирующего устройства:

$$\cos \varphi = \frac{1021,73}{1103,36} = 0,926.$$

Как видно из расчётов $\cos \varphi > 0,92$, что удовлетворяет требованиям электрической системы. Следовательно, к установке принимаем конденсаторную батарею на 150 кВар УКМ-58 0.4-150-75 производства ООО «МИКРОН».

4.2 Выбор силовых трансформаторов

При выборе мощности трансформатора используется мощность всех электроприёмников, но стоит учесть, что насосы Н-29/3 и Н-29/4 резервируют насосы Н-29/1 и Н-29/2 соответственно. Их одновременное включение не предусмотрено, поэтому в суммарной расчетной полной мощности их не следует учитывать. Следовательно, общая мощность будет находиться по формуле 19.

$$\sum S_p = \sum S_p I \text{секции} + \sum S_p II \text{секции} - S_p(\text{Н} - 29/1) - S_p(\text{Н} - 29/3) \quad (4.4)$$

Рассчитаем общую мощность:

$$\sum S_p = 1130,56 + 1103,36 - 150 - 150 = 1934 \text{ кВА}$$

При расчёте мощности трансформатора используем следующие данные:

- Общая мощность $\sum S_p = 1934$;
- Количество трансформаторов $N_T = 2$ шт;
- Коэффициент загрузки трансформатора $K_3 = 0,7$.

По формуле 20 рассчитаем требуемую мощность трансформатора:

$$S_{um} = \frac{\sum S}{K_3 \cdot N_m} \quad (20)$$

Произведем расчёт требуемой мощности:

$$S_{\text{шт}} = \frac{2075}{0,7 \cdot 2} = 1381,4 \text{ кВА}.$$

«К установке принимаем сухие трансформаторы «ТСЗ 1600 кВА» компании ООО «КПМ»» [14]. Они подходят по ряду следующих условий:

- «– Устанавливаются в местах, требующих повышенной безопасности;
- Широко применяются на промышленных предприятиях, металлургических комбинатах, и самое главное, на химических производствах;
- Отсутствует необходимость в системе пожаротушения.» [5]
- Большинство нагрузки на производстве — это вентиляторы, насосы и компрессоры, а они работают с переменной частотой вращения.

Вывод: произведен выбор количества трансформаторов с учётом категории надёжности электроснабжения предприятия, а также подобрана их мощность с учетом нагрузки.

5 Выбор оборудования

5.1 Выбор сечения проводников распределительной сети

Из-за того, что производство является взрывоопасным, кабели необходимо выбрать медные, с учетом того, что $I_p < I_{доп}$, и расчётный ток необходимо домножить на 1,25. Следует учесть, «что сечение медного кабеля не должно быть меньше 2,5 мм²» [4].

«Выбирается кабель марки ВБбШвнг-LS ООО НПП Спецкабель» [7].

Выбор кабелей произведём в таблице 6 и 7.

Таблица 6 – Выбор кабелей для двигателей, запитанных от щита силового управления

№	Название	$1,25 \cdot I_p$	$I_{доп}, A$	Марка
1	Н-48/1	22,00	25	ВБбШвнг-LS 4x2.5
2	Н-48/5	51,26	63	ВБбШвнг-LS 3x6+1x4
3	Н-53/1	51,26	63	ВБбШвнг-LS 3x6+1x4
4	Н-54	51,26	63	ВБбШвнг-LS 3x6+1x4
5	Н-55/1	41,52	46	ВБбШвнг-LS 3x6+1x4
6	Н-69/1	34,23	36	ВБбШвнг-LS 3x4+1x2,5
7	ПС-1	29,54	36	ВБбШвнг-LS 3x4+1x2,5
8	ПС-2	50,04	63	ВБбШвнг-LS 3x6+1x4
9	ПС-3/1	11,46	25	ВБбШвнг-LS 4x2.5
10	ПС-4/1	15,63	25	ВБбШвнг-LS 4x2.5
11	ПС-6/1	11,46	25	ВБбШвнг-LS 4x2.5
12	ПС-7/1	9,10	25	ВБбШвнг-LS 4x2.5
13	ПС-8/1	9,10	25	ВБбШвнг-LS 4x2.5
14	ПС-9/1	9,10	25	ВБбШвнг-LS 4x2.5
15	АВ-1	50,04	63	ВБбШвнг-LS 3x6+1x4
16	ВС-2/1	4,59	25	ВБбШвнг-LS 4x2.5
17	ВС-3/1	4,59	25	ВБбШвнг-LS 4x2.5

Продолжение таблицы 6

18	АВЗ-21/1	187,60	238	ВБбШвнг-LS 3x70+1x25
19	Э/3-7/1	1,59	25	ВБбШвнг-LS 4x2.5
20	Э/3-8/1	2,15	25	ВБбШвнг-LS 4x2.5
21	Н-22/2	42,33	63	ВБбШвнг-LS 3x6+1x4
22	Н-22/3	34,28	36	ВБбШвнг-LS 3x4+1x2,5
23	Н-25/1	8,74	25	ВБбШвнг-LS 4x2.5
24	Н-25/2	8,74	25	ВБбШвнг-LS 4x2.5
25	Н-25/3	8,74	25	ВБбШвнг-LS 4x2.5
26	Н-48/2	21,71	25	ВБбШвнг-LS 4x2.5
27	Н-48/6	36,73	46	ВБбШвнг-LS 3x6+1x4
28	Н-53/2	50,56	63	ВБбШвнг-LS 3x6+1x4
29	Н-55/2	38,18	46	ВБбШвнг-LS 3x6+1x4
30	Н-69/2	31,40	36	ВБбШвнг-LS 3x4+1x2,5
31	Н-107	57,25	63	ВБбШвнг-LS 3x6+1x4
32	ПС-1	27,12	36	ВБбШвнг-LS 3x4+1x2,5
33	ПС-3/2	10,50	25	ВБбШвнг-LS 4x2.5
34	ПС-4/2	14,32	25	ВБбШвнг-LS 4x2.5
35	ПС-5/2	0,76	25	ВБбШвнг-LS 4x2.5
36	ПС-6/2	10,50	25	ВБбШвнг-LS 4x2.5
37	ПС-7/2	8,31	25	ВБбШвнг-LS 4x2.5
38	ПС-8/2	8,31	25	ВБбШвнг-LS 4x2.5
39	ПС-9/2	8,31	25	ВБбШвнг-LS 4x2.5
40	ВС-1	30,73	36	ВБбШвнг-LS 3x4+1x2,5
41	ВС-2/2	4,15	25	ВБбШвнг-LS 4x2.5
42	ВС-3/2	4,20	25	ВБбШвнг-LS 4x2.5
43	АВЗ-21/2	171,87	238	ВБбШвнг-LS 3x70+1x25
44	Э/3-7/2	1,82	25	ВБбШвнг-LS 4x2.5
45	Э/3-8/2	1,45	25	ВБбШвнг-LS 4x2.5
46	Э/3-9/3	0,68	25	ВБбШвнг-LS 4x2.5
47	Э/3-10/1	0,74	25	ВБбШвнг-LS 4x2.5
48	Э/3-10/1	0,74	25	ВБбШвнг-LS 4x2.5

Таблица 7 – Выбор кабелей отходящих напрямую от первой и второй секций шин

№	Название	$1,25 \cdot I_p$	$I_{доп}$, А	Марка
1	ЩСУ	1363,01	1476	4хВБбШвнг-LS 4х185
2	Н-9/1	249,64	261	ВБбШвнг-LS 3х95+1х50
3	Н-9/a1	249,64	261	ВБбШвнг-LS 3х95+1х50
4	Н-10/1	249,64	261	ВБбШвнг-LS 3х95+1х50
5	Н-29/1	306,37	346	ВБбШвнг-LS 3х150+1х70
6	Н-29/3	306,37	346	ВБбШвнг-LS 3х150+1х70
7	Н-29/5	299,56	302	ВБбШвнг-LS 3х120+1х70
8	Н-9/2	249,64	261	ВБбШвнг-LS 3х95+1х50
9	Н-9/a2	249,64	261	ВБбШвнг-LS 3х95+1х50
10	Н-10/2	249,64	261	ВБбШвнг-LS 3х95+1х50
11	Н-29/2	306,37	346	ВБбШвнг-LS 3х150+1х70
12	Н-29/4	306,37	346	ВБбШвнг-LS 3х150+1х70
13	Н-29/6	299,56	302	ВБбШвнг-LS 3х120+1х70

5.2 Выбор автоматических выключателей

Исходя из данных пункта 2 в зависимости от величины расчётного тока будут выбираться автоматические выключатели по ряду условий:

– в том случае, когда линия подключается к одному электроприемнику или электродвигателю: $1,25 \cdot I_p < I_{HA}$;

– в том случае, когда линия подключается к шине или группе электроприемников: $1,1 \cdot I_p < I_{HA}$;

«К установке принимает выключатели серии ВА» [1].

Составим таблице 8 для линий питающих один электроприемник.

Таблица 8– Выбор автоматических выключателей для линий с одним электроприемником

№	Название	$1,25 \cdot I_p, A$	I_{HP}, A	$I_{ПКС}, кА$	I_{HA}, A	Марка
1	H–48/1	22,00	25	4,5	25	ВА 47-29
2	H–48/5	51,26	63	4,5	63	ВА 47-29
3	H–53/1	51,26	63	4,5	63	ВА 47-29
4	H–54	51,26	63	4,5	63	ВА 47-29
5	H–55/1	41,52	50	4,5	50	ВА 47-29
6	H–69/1	34,23	40	4,5	40	ВА 47-29
7	ПС–1	29,54	32	4,5	32	ВА 47-29
8	ПС–2	50	50	4,5	50	ВА 47-29
9	ПС–3/1	11,46	13	4,5	13	ВА 47-29
10	ПС–4/1	15,63	16	4,5	16	ВА 47-29
11	ПС–6/1	11,46	13	4,5	13	ВА 47-29
12	ПС–7/1	9,10	10	4,5	10	ВА 47-29
13	ПС–8/1	9,10	10	4,5	10	ВА 47-29
14	ПС–9/1	9,10	10	4,5	10	ВА 47-29
15	AB–1	50	50	4,5	50	ВА 47-29
16	BC–2/1	4,59	5	4,5	5	ВА 47-29
17	BC–3/1	4,59	5	4,5	5	ВА 47-29
18	AB3–21/1	187,60	200	30	250	ВА 52-35
19	Э/3–7/1	1,59	1,6	4,5	1,6	ВА 47-29

Продолжение таблицы 8

19	Э/3-7/1	1,59	1,6	4,5	1,6	BA 47-29
20	Э/3-8/1	2,15	2,5	4,5	2,5	BA 47-29
21	Н-22/2	42,33	50	4,5	50	BA 47-29
22	Н-22/3	34,28	40	4,5	40	BA 47-29
23	Н-25/1	8,74	10	4,5	10	BA 47-29
24	Н-25/2	8,74	10	4,5	10	BA 47-29
25	Н-25/3	8,74	10	4,5	10	BA 47-29
26	Н-48/2	21,71	25	4,5	25	BA 47-29
27	Н-48/6	36,73	40	4,5	40	BA 47-29
28	Н-53/2	50	50	4,5	50	BA 47-29
29	Н-55/2	38,18	40	4,5	40	BA 47-29
30	Н-69/2	31,40	32	4,5	32	BA 47-29
31	Н-107	57,25	63	4,5	63	BA 47-29
32	ПС-1	27,12	32	4,5	32	BA 47-29
33	ПС-3/2	10,50	13	4,5	13	BA 47-29
34	ПС-4/2	14,32	16	4,5	16	BA 47-29
35	ПС-5/2	0,76	1	4,5	1	BA 47-29
36	ПС-6/2	10,50	13	4,5	13	BA 47-29
37	ПС-7/2	8,31	10	4,5	10	BA 47-29
38	ПС-8/2	8,31	10	4,5	10	BA 47-29
39	ПС-9/2	8,31	10	4,5	10	BA 47-29
40	ВС-1	30,73	32	4,5	32	BA 47-29

Продолжение таблицы 8

41	BC-2/2	4,15	5	4,5	5	BA 47-29
42	BC-3/2	4,20	5	4,5	5	BA 47-29
43	AB3-21/2	171,87	200	30	250	BA52-39
44	Э/3-7/2	1,82	2	4,5	2	BA 47-29
45	Э/3-8/2	1,45	2	4,5	2	BA 47-29
46	Э/3-9/3	0,68	1	4,5	1	BA 47-29
47	Э/3-10/1	0,74	1	4,5	1	BA 47-29
48	Э/3-10/1	0,74	1	4,5	1	BA 47-29
49	H-9/1	249,64	320	40	400	BA52-35
50	H-9/a1	249,64	320	40	400	BA52-35
51	H-10/1	249,64	320	40	400	BA52-35
52	H-29/1	306,37	320	40	400	BA52-35
53	H-29/3	306,37	320	40	400	BA52-35
54	H-29/5	299,56	320	40	400	BA52-35
55	H-9/2	249,64	320	40	400	BA52-35
56	H-9/a2	249,64	320	40	400	BA52-35
57	H-10/2	249,64	320	40	400	BA52-35
58	H-29/2	306,37	320	40	400	BA52-35
59	H-29/4	306,37	320	40	400	BA52-35
60	H-29/6	299,56	320	40	400	BA52-35

5.3 Выбор трансформаторов тока

Выбор токовых трансформаторов будем производить исходя из формулы определения номинального тока нагрузки 21:

$$I_{н.т} = \frac{S_m}{\sqrt{3}V_n}, \quad (21)$$

где $I_{н.т}$ – номинальный ток нагрузки на ВН;

S_m – мощность трансформатора;

V_n – напряжение сети.

$$I_{н.т} = \frac{1600}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 2353.$$

При выборе трансформатора тока необходимо учесть: $I_{нт} < I_n$.

Для установки выбирается трансформатор марки «ТЛЛ-0,66-3» от компании ОАО «Свердловский завод трансформаторов тока» [15].

Вывод: произведен выбор кабелей, автоматических выключателей, и трансформаторов тока с учетом специфики производства.

6 Расчёт релейной защиты автоматических выключателей

Вводные автоматические выключатели выбираются исходя от номинальной мощности трансформатора их количества и коэффициента загрузки.

Номинальный ток трансформатора рассчитывается по формуле 22 :

$$I_{TH} = \frac{S_H}{\sqrt{3} \cdot U_H}. \quad (22)$$

Для трансформатора ТСЗ 1600:

$$I_{TH} = \frac{1600}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 2353.$$

Номинальный ток вводного автоматического выключателя будет находиться по формуле 23:

$$I_{B.B.H} \geq K_{3П} \cdot I_{TH}. \quad (23)$$

Рассчитаем номинальный ток вводных выключателей:

$$I_{B.B.H} \geq 1,4 \cdot 2353 = 3294.$$

Номинальный ток для секционного выключателя выбирается как 50% от номинального тока вводных выключателей:

$$I_{B.C.H.} = 0,5 \cdot I_{B.B.H} \geq 0,5 \cdot 3294 = 1647.$$

Выберем автоматические выключатели:

– вводные выключатели марки ВА 75-47 с номинальным током $I_{\text{HA}}=4000 \text{ А}$.

– секционный выключатель ВА 55-45 с номинальным током $I_{\text{HA}}=2500 \text{ А}$.

1. Рассчитаем защиту от перегрузок

Найдем соотношение $I_{\text{В.В.Н}}$ к I_{HA} .

Для вводных выключателей:

$$\frac{I_{\text{В.В.Н}}}{I_{\text{HA}}} = \frac{3294}{4000} = 0,82.$$

Для секционного выключателя:

$$\frac{I_{\text{В.В.Н}}}{I_{\text{HA}}} = \frac{1647}{2500} = 0,66.$$

Уставка защиты от перегрузок I_r в пределах $(0,4 - 1,0) \cdot I_n$.

Принимаем уставку защиты от перегрузок для вводных выключателей $I_r = 0,9 \cdot 4000 = 3600$, а так же для секционного выключателя $I_r = 0,7 \cdot 2500 = 1750$.

Условные токи несрабатывания находятся по формуле 24:

$$I_{\text{вр}} = 1,05 \cdot I_r \quad (24)$$

Условные токи срабатывания находятся по формуле 25:

$$I_{\text{нр}} = 1,20 \cdot I_r \quad (25)$$

Рассчитаем условные токи срабатывания и несрабатывания для вводных выключателей:

$$I_{wr} = 1,05 \cdot 3600 = 3780.$$

$$I_{nr} = 1,20 \cdot 3600 = 4320.$$

Рассчитаем условные токи срабатывания и несрабатывания для секционного выключателя:

$$I_{wr} = 1,05 \cdot 2500 = 1837,5.$$

$$I_{nr} = 1,20 \cdot 2500 = 2100.$$

Выбор времени срабатывания защиты в зависимости от перегрузок для вводных выключателей:

$$\text{При токе } 1,5 \cdot I_r = 1,5 \cdot 3600 = 5400 - 140-200\text{с};$$

$$\text{При токе } 6 \cdot I_r = 6 \cdot 3600 = 21600 - 6-8\text{с};$$

$$\text{При токе } 7,2 \cdot I_r = 7,2 \cdot 3600 = 25920 - 4,4-5,5\text{с}.$$

Выбор времени срабатывания защиты в зависимости от перегрузок для секционного выключателя:

$$\text{При токе } 1,5 \cdot I_r = 1,5 \cdot 1750 = 2625 - 140-200\text{с};$$

$$\text{При токе } 6 \cdot I_r = 6 \cdot 1750 = 10500 - 6-8\text{с};$$

$$\text{При токе } 7,2 \cdot I_r = 7,2 \cdot 1750 = 12600 - 6-8\text{с}.$$

2. Выбор селективной токовой отсечки.

Токовая уставка регулируется в пределах $I_{sd} = (1,5-10) \cdot I_r$, время срабатывания примем $t_{sd} = 0,1\text{с}$. Принимаем токовую уставку для вводных выключателей $I_{sd} = 2 \cdot 3600 = 7200\text{А}$. и для секционного выключателя $I_{sd} = 2 \cdot 2500 = 5000\text{А}$.

Зона срабатывания защиты меняется как $(0,9 - 1,1) \cdot I_{sd}$

Зона срабатывания защиты для вводных выключателей:

$$0,9 \cdot 7200 = 6480,$$

$$1,1 \cdot 7200 = 7920.$$

Зона срабатывания защиты для секционного выключателя:

$$0,9 \cdot 5000 = 4500,$$

$$1,1 \cdot 5000 = 5500.$$

3. Мгновенная токовая отсечка регулируется по формуле 26 :

$$I_i = 6 \cdot I_{HA} \quad (26)$$

По формуле 27 рассчитаем мгновенную токовую отсечку для вводных автоматов:

$$I_i = 6 \cdot 4000 = 24000 \text{ A.}$$

Так же рассчитаем мгновенную токовую отсечку для секционного выключателя:

$$I_i = 6 \cdot 2500 = 15000 \text{ A.}$$

Вывод: выбраны вводные и секционные выключатели рассчитаны значения токов для защиты от перегрузок, токи мгновенной токовой отсечки и селективной токовой отсечки.

7 Расчёт токов короткого замыкания

При расчёте токов короткого замыкания на основе схемы электроснабжения составлена расчётная схема. На рисунке 6 отмечены предполагаемые точки короткого замыкания от самого удаленного электроприемника до секции шин.

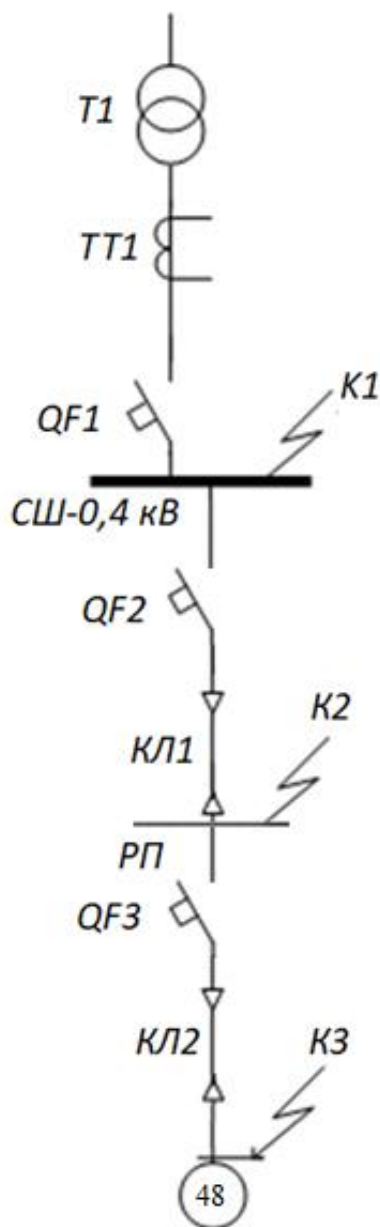
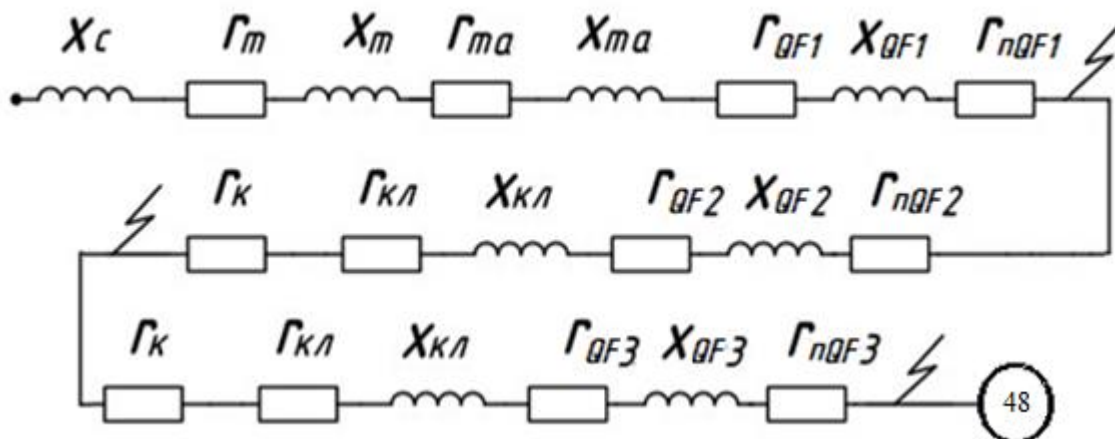


Рисунок 7 – Расчётная схема с точками КЗ

7.1 Расчёт токов трехфазного замыкания

«При расчёте токов КЗ учитывается активное и реактивное



сопротивление» [18]. Составим схему замещения и отобразим на рисунке 8.

Рисунок 8 – Схема замещения активных и реактивных нагрузок с точками короткого замыкания

Найдем сопротивление всех элементов цепи для расчёта тока КЗ.

Сопротивление трансформатора $S_{\text{нр}} = 1600 \text{кВА}$, МОм:

$$Z_T = 5,4;$$

$$x_T = 5,4;$$

$$r_T = 1.$$

По формулам 28 и 29 рассчитаем сопротивление кабельных линий:

$$x_{\text{кл}} = x_0 \cdot l, \quad (28)$$

$$r_{\text{кл}} = r_0 \cdot l, \quad (29)$$

где x_0 – индуктивное погонное сопротивление;

r_0 – активное погонно сопротивление;

l – линии длина, м.

Длина кабельной линии до ЩСУ: $l_{KL1} = 10$ м, до двигателя:

$l_{KL2} = 20$ м.

Рассчитаем по формулам 28 и 29 сопротивление для кл1 и кл2:

$$x_{KL1} = 0,78 \cdot 10 = 7,8,$$

$$r_{KL1} = 0,1 \cdot 10 = 1,$$

$$x_{KL2} = 0,116 \cdot 20 = 2,32,$$

$$r_{KL2} = 7,4 \cdot 20 = 148.$$

Сопротивление для автоматов возьмём из паспортных данных и заполним таблицу 9.

Таблица 9 – Данные сопротивлений автоматических выключателей

№	Марка автоматического выключателя	r	r_n	x
QF_1	ВА 75-47	0,04	0,05	0,05
QF_2	ВА56-43	0,08	0,1	0,08
QF_3	ВА 47-29	5,5	1,3	4,5

Вычислим суммарные сопротивления до точки К1 по формулам 30-32:

$$R_{K1\Sigma} = r_T + r_{QF1} + r_{nQF1}, \quad (30)$$

$$X_{K1\Sigma} = x_c + x_T + x_{QF1}, \quad (31)$$

$$Z_{K1} = \sqrt{R_{K1}^2 + X_{K1}^2}. \quad (32)$$

Точка К1:

$$R_{K1\Sigma} = 1 + 0,04 + 0,05 = 1,09 \text{ МОм},$$

$$X_{K1\Sigma} = 1,6 + 5,4 + 0,05 = 7,05 \text{ МОм},$$

$$Z_{K1} = \sqrt{1,09^2 + 7,05^2} = 7,13 \text{ МОм}.$$

Вычислим суммарные сопротивления до точки К2 по формулам 33–
35:

$$R_{K2\Sigma} = R_{K1\Sigma} + r_{QF2} + r_{nQF2} + r_{к11} + r_{к}, \quad (33)$$

$$X_{K2\Sigma} = X_{K1\Sigma} + x_{QF2} + x_{к11}, \quad (34)$$

$$Z_{K2} = \sqrt{R_{K2\Sigma}^2 + X_{K2\Sigma}^2}. \quad (35)$$

Точка К2:

$$R_{K2\Sigma} = 1,09 + 5,5 + 1,3 + 1 + 0,4 = 9,29,$$

$$X_{K2\Sigma} = 7,05 + 0,08 + 7,8 = 14,93,$$

$$Z_{K2} = \sqrt{9,29^2 + 14,93^2} = 17,6.$$

По формулам 36 – 38 вычислим суммарные сопротивления до точки К3:

$$R_{K3\Sigma} = R_{K2\Sigma} + r_{QF3} + r_{nQF3} + r_{к12} + r_{к}, \quad (36)$$

$$X_{K3\Sigma} = X_{K2\Sigma} + x_{QF3} + x_{к12}, \quad (37)$$

$$Z_{K3} = \sqrt{R_{K3\Sigma}^2 + X_{K3\Sigma}^2}. \quad (38)$$

Точка К3:

$$R_{K3\Sigma} = 9,2 + 5,5 + 1,3 + 148 + 0,4 = 164,4,$$

$$X_{K3\Sigma} = 14,93 + 4,5 + 2,32 = 21,75,$$

$$Z_{K3} = \sqrt{164,4^2 + 21,75^2} = 166.$$

По формуле 39 рассчитаем значение приведенного тока трехфазного КЗ:

$$I_n^{(3)} = \frac{U_H}{\sqrt{3} \cdot Z_{Kn}}. \quad (39)$$

Точка К1:

$$I_{K1}^{(3)} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 7,13} = 32,4 \text{ кА.}$$

Точка К2:

$$I_{K2}^{(3)} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 17,6} = 13,12 \text{ кА.}$$

Точка К3:

$$I_{K3}^{(3)} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 166} = 1,4 \text{ кА.}$$

7.2 Расчет токов двухфазного короткого замыкания

Ток двухфазного КЗ находится по формуле 40 :

$$I^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_n^{(3)} = 0,87 \cdot I_n^{(3)}, \quad (40)$$

где $I_n^{(3)}$ - приведённое значение тока трехфазного КЗ.

Точка К1:

$$I_{K1}^{(2)} = 0,87 \cdot I_{K1}^{(3)} = 0,87 \cdot 32,4 = 28,2 \text{ кА}.$$

Точка К2:

$$I_{K2}^{(2)} = 0,87 \cdot I_{K2}^{(3)} = 0,87 \cdot 13,12 = 11,41 \text{ кА}.$$

Точка К3:

$$I_{K3}^{(2)} = 0,87 \cdot I_{K3}^{(3)} = 0,87 \cdot 1,4 = 1,22 \text{ кА}.$$

По формуле 41 рассчитаем ударные токи:

$$i_y = \sqrt{2} \cdot k_y \cdot I_n^{(3)}, \quad (41)$$

«где k_y – ударный коэффициент» [3].

«Ударный коэффициент при коротком замыкании на ШНН трансформаторов мощностью более 400кВА принимается 1,3, а на более удаленных точках – 1» [3].

Соответственно расчёт ударного тока КЗ в точке К1:

$$i_y = \sqrt{2} \cdot 1,3 \cdot I_{K1}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1,3 \cdot 32,4 = 59,6 \text{ кА}.$$

Расчёт ударного тока КЗ в точке К2:

$$i_y = \sqrt{2} \cdot 1,3 \cdot I_{K2}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1,3 \cdot 13,12 = 24,12 \text{ кА.}$$

Расчёт ударного тока КЗ в точке К3:

$$i_y = \sqrt{2} \cdot 1,3 \cdot I_{K3}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1,3 \cdot 1,4 = 2,6 \text{ кА.}$$

По формуле 42 найдем действующее значение ударного тока:

$$I_{yKn} = q_{Kn} \cdot I_{Kn}^{(3)}, \quad (42)$$

где q – коэффициент действующего значения тока, находящийся по формуле 43:

$$q_{Kn} = \sqrt{1 + 2(k_y - 1)^2}. \quad (43)$$

Для точки К1:

$$q_{K1} = \sqrt{1 + 2(1,3 - 1)^2} = 1,08.$$

Для точки К2:

$$q_{K2} = \sqrt{1 + 2(1 - 1)^2} = 1.$$

Для точки К3:

$$q_{K3} = \sqrt{1 + 2(1 - 1)^2} = 1.$$

Найдем действующее значение ударного тока КЗ по формуле 42 :

Для точки К1:

$$I_{yK1} = 1,08 \cdot 32,4 = 35 \text{ кА.}$$

Для точки К2:

$$I_{yK2} = 1 \cdot 13,12 = 13,12 \text{ кА.}$$

Для точки К3:

$$I_{yK3} = 1 \cdot 1,4 = 1,4 \text{ кА.}$$

Полученные данные сведем в таблицу 10.

Таблица 10 – Сводные данные токов КЗ

Точка КЗ	$R_{Kn\Sigma},$ мОм	$X_{Kn\Sigma},$ мОм	$Z_{Kn\Sigma},$ мОм	K_Y	q	$I_{Kn}^{(3)},$ кА	$I_{Kn}^{(2)},$ кА	i_{yKn}	I_{yKn}
К1	1,09	7,05	7,13	1,3	1,08	32,4	28,2	59,6	35
К2	9,29	14,93	17,6	1	1	13,12	11,41	24,12	13,2
К3	164,4	21,75	166	1	1	1,4	1,22	2,6	1,4

Вывод: составлена расчётная схема с точками короткого замыкания и выполнен расчёт трехфазных и двухфазных токов короткого замыкания для каждой точки, рассчитаны ударные токи, данные сведены в таблицу 10.

8 Проверка автоматических выключателей

8.1 Проверка отключающей способности

Возможность включить и отключить несколько раз при максимальном значении тока КЗ называется «предельной коммутационной способностью» (ПКС). «Отключающая способность автомата должна быть больше, чем ток короткого замыкания, протекающего через него» [20]. Для проверки составим таблицу с данными автоматических выключателей и токами КЗ.

Таблица 11 – Проверка отключающей способности у автоматических выключатели

Марка	$I_{K1}^{(3)}, \text{кА}$	$I_{K2}^{(3)}, \text{кА}$	$I_{K3}^{(3)}, \text{кА}$	$I_{ПКС}, \text{кА}$
ВА 47-29	-	-	1,4	4,5
ВА 56-43	-	13,12	1,4	80
ВА 75-47	32,4	13,12	1,4	80

Вывод: по таблице 11 можно сделать вывод $I_{ПКС}, \text{кА}$ больше чем значения токов короткого замыкания, следовательно проверка пройдена.

8.2. Проверка динамической устойчивости

«Для проверки автоматических выключателей сравниваются значения ударных токов из пунктов 6 и значение тока динамической стойкости» [19].

По формуле 44 рассчитывается ток динамической стойкости.

$$I_{дин} = n \cdot I_{пкс} \quad (44)$$

«где n – это коэффициент характеризующий отношение к наибольшей включающей способности к наибольшей отключающей способности.

Коэффициент n принимает значения 1,41 если выключатель имеет предельную коммутирующую способность до 1500А, а если значение ПКС больше 200000, но меньше 50000, то принимает значение 2,1.» [9]

В таблице 12 приведены значения для сравнения ударных токов и токов динамической стойкости.

Таблица 12 – Проверка динамической устойчивости

Марка	$i_{yк1}, \text{кА}$	$i_{yк2}, \text{кА}$	$i_{yк3}, \text{кА}$	$I_{\text{ПКС}}, \text{кА}$	$I_{\text{дин}}, \text{кА}$
ВА 47-29	-	-	2,6	4,5	6,345
ВА 56-43	-	24,12	2,6	80	112.8
ВА 75-47	59,6	24,12	2,6	80	112.8

Вывод: исходя из данных в таблице 12 $i_{yкn} < I_{\text{дин}}$, следовательно проверка пройдена.

Заключение

В рамках выполнения выпускной квалификационной работы выполнена разработка технических решений по электрооборудованию цеха БК-2, входящего в состав одного из крупнейших предприятий нашего города – ООО «Тольяттикачук».

Для достижения поставленной цели выполнено следующее:

- Проведён расчёт электрических нагрузок производства;
- Смоделировано освещение в программе DIALux;
- Выбор компенсирующего устройства реактивной мощности;
- Выбор силовых трансформаторов ТСЗ 1600 6/04 на каждую секцию;
- Выбор оборудования: взрывозащищённые кабели марки ВБШвнг-LS, автоматические выключатели серии ВА;
- Выбор вводных и секционных выключателей и выбор токовых уставок для них;
- Расчёт трехфазных и двухфазных токов короткого замыкания;
- Расчёт ударных токов;
- Исходя из данных полученных при расчёте токов КЗ были успешно проверены автоматических выключатели на стойкость к токам трехфазного короткого замыкания и ударным токам, также проверка отключающей способности.

Список используемых источников

1. Автоматические выключатели серии ВА. ИЕК [Электронный ресурс] URL: https://www.iek.ru/products/catalog/modulnoe_oborudovanie/avtomaticheskie_vyklyuchateli/ (дата обращения 01.05.2021).
2. Взрывозащищенные светодиодные светильники. Световые технологии. [Электронный ресурс] URL: https://www.cztt.ru/tll_066.html (дата обращения 01.05.2021).
3. ГОСТ 28249-93 Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением до 1 кВ. Введ. 1995-01-01. М.: Стандартинформ, 2019. 44 с.
4. ГОСТ 30852.0-2002 (МЭК 60079-0:1998) Электрооборудование взрывозащищенное. Введ. 2014-02-15. М.: Стандартинформ, 2014. 50 с.
5. ГОСТ Р 54827-2011 (МЭК 60076-11:2004) Трансформаторы сухие. Общие технические условия. Введ. 2012-12-01. М.: Стандартинформ, 2018. 33 с.
6. ГОСТ Р 55710-2013 Освещение рабочих мест внутри зданий. Нормы и методы измерений. Введ. 2014-07-01. М.: Стандартинформ, 2014. 16 с.
7. Кабель ВБШВнг-LS. НПП «Спецкабель» [Электронный ресурс] URL: <http://spetskabel.ru/products/11/591/>. (дата обращения 01.05.2021).
8. Категории электроснабжения потребителей по ПУЭ. [Электронный ресурс] URL: <https://en-res.ru/stati/pue-kategorii-elektrosnabzheniya-potrebitelej.html> (дата обращения 23.05.2021)
9. Конюхова Е.А. Проектирование систем электроснабжения промышленных предприятий (теория и примеры): учебное пособие. М.: РУСАЙНС, 2017. 160 с.
10. Правила устройства электроустановок. М: Энергоатомиздат, 2015, 330 с.

11. Рожин А.Н., Бакшаева Н.С. Внутрицеховое электроснабжение: учеб. пособие для выполнения курсового и дипломного проектов. Киров: Изд-во ВятГУ, 2016. 258 с.
12. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95. Введ. 2017-05-08. М.: Минстрой России, 2017. 102 с.
13. Татнефть. Тольяттикаучук. [Электронный ресурс] URL: <https://togliatti.tatneft.ru/?lang=ru> (дата обращения 23.05.2021)
14. Трансформаторы сухие ТСЗ ООО «КПМ» [Электронный ресурс] URL: <https://complectprom.ru> (дата обращения 01.05.2021).
15. Трансформаторы тока ТЛЛ-0,66-3 ОАО «Свердловский завод трансформаторов тока» [Электронный ресурс] URL: http://www.czt.ru/TNSHL_066.html (дата обращения 01.05.2021).
16. Cassedy E. S., Peter Z. G. Introduction to Energy : tutorial. Cambridge : Cambridge University Press, 2017. 440 p.
17. Daza S.A. Electric Power System Fundamentals. London: Artech House, 2016. 388 p.
18. Gaty L.R. Calculation of short circuit current // Journal of IEEE. 2014. Vol. 74. No. 2. pp. 200 – 205.
19. Jensen C. F. Online location of faults on AC cables in underground transmission systems. Alborg: Department of energy technology, 2014. 221 p.
20. Mohamed A. Ibrahim. Protection & Control for Power System. CreateSpace Independent Publishing Platform. 2016. 540 p.