

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

Институт энергетики и электротехники

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»

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

Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений
(направленность (профиль))

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему «Электрооборудование и электрохозяйство муниципального образовательного учреждения»

Студент(ка)

Л.И. Бажмин

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

В.П. Тараканов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Консультанты

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Допустить к защите

Заведующий кафедрой д.т.н., профессор В.В. Вахнина _____

« ____ » _____ 2016 г.

Тольятти 2016

Аннотация

В работе выполнено проектирование электрооборудования и электрохозяйства муниципального образовательного учреждения. Объект проектирования расположен в Самарской области и рассчитан на 1000 учащихся.

В работе выполнен расчет мощности электроприемников по учреждению с учетом освещения. Расчет освещения выполнен согласно требованиям к освещенности образовательных учреждений.

Для электроснабжения муниципального образовательного учреждения выбраны тип, число и мощность трансформаторов на трансформаторной подстанции с учетом компенсации реактивной мощности. Выполнен выбор кабелей и проводников как внутри помещения, так и снаружи для питания всего учреждения от трансформаторной подстанции. Так как большую часть нагрузок муниципального образовательного учреждения составляют осветительные установки был рассмотрен вопрос монтажа электроосветительных установок. Так же выполнен расчет теплотребления муниципального образовательного учреждения.

Пояснительная записка представлена на 61 странице, включает в себя шесть рисунков и три таблицы. Графическая часть представлена на 6 листах формата А1.

Содержание

Введение.....	4
1 Характеристика муниципального образовательного учреждения.....	6
2 Определение расчетных электрических нагрузок по учреждению	8
2.1 Определение электрических нагрузок силовых потребителей	8
2.2 Определение электрических нагрузок освещения.....	11
2.3 Выбор числа и мощности трансформаторов с учетом компенсации реактивной мощности	28
3 Расчет токов короткого замыкания	37
4 Определение параметров питающих и внутренних сетей.....	45
5 Технология монтажа электроосветительных установок.....	48
6 Молниезащита здания	50
7 Расчет теплотребления учреждения	52
Заключение	57
Список использованных источников	58

Введение

В современном мире значение образования как важнейшего фактора формирования новых качеств экономики и общества увеличивается вместе с ростом влияния человеческого капитала. Российская система образования способна конкурировать с системами образования передовых стран. При этом необходимы широкая поддержка со стороны общественности, проводимой образовательной политики, восстановление ответственности и активной роли государства в этой сфере, глубокая и всесторонняя модернизация образования с выделением необходимых для этого ресурсов и созданием механизмов их эффективного использования.

Образование, в его неразрывной, органичной связи с наукой, становится все более мощной движущей силой экономического роста, повышения эффективности и конкурентоспособности народного хозяйства, что делает его одним из важнейших факторов национальной безопасности и благосостояния страны, благополучия каждого гражданина.

Надежное электроснабжение образовательного учреждения, является неотъемлемой частью получения гражданином РФ полноценного образования и сохранения им здоровья.

Большинство школ России, были построены по типовым проектам в 80-ых годах прошлого века. Однако, с того времени произошел большой скачок в развитии техники и технологий, и соответственно изменились и требования предъявляемые к уровню образования. В настоящее время в каждой школе присутствует большое количество компьютерной техники и различного оборудования для поддержания учебного процесса.

Применение современных образовательных технологий неразрывно связано с применением электрической энергии. Однако, рост роли электрической энергии в образовательном процессе накладывает и ряд особенностей. В первую очередь - безопасность учащихся. Поэтому при

проектировании систем электроснабжения и электрохозяйства объектов среднего образования, необходимо учитывать все современные требования по надежности и безопасности систем электроснабжения.

Не стоит так же обходить стороной и применение энергосберегающих технологий в системах электроснабжения муниципальных образовательных учреждений. Применение современных осветительных установок, позволят существенно снизить затраты на оплату энергоресурсов и повысить комфорт в образовательных классах

Целью выпускной квалификационной работы является проектирование системы электрооборудования и электрохозяйства муниципального образовательного учреждения.

Для достижения поставленной в работе цели необходимо решение следующих задач:

1. Выполнить расчет электрических нагрузок по учреждению, включая осветительные нагрузки;
2. Провести выбор трансформатора, питающего образовательное учреждение;
3. Выполнить расчет токов короткого замыкания на стороне выше и ниже 1000 В;
4. Провести выбор необходимого оборудования;
5. Рассчитать мощность теплопотребления учреждения;
6. Рассмотреть вопрос молниезащиты здания муниципального образовательного учреждения

1 Характеристика муниципального образовательного учреждения

Муниципальное образовательное учреждение, рассматриваемое в выпускной квалификационной работе выполнено по типовому проекту и рассчитано на 1000 учащихся и расположено в Самарской области. Такие школы строятся, как правило, в крупных городах с плотной жилой застройкой. Проектом предусмотрены кирпичные стены здания. В работе рассматривается типовое здание, поэтому для электроснабжения школы выбирается отдельно стоящая трансформаторная подстанция предназначенная только для покрытия нагрузок данного учреждения. Муниципальное образовательное учреждение относится ко второй категории надежности. В образовательном учреждении предусмотрена столовая, которая позволит обеспечивать учащихся горячим питанием, а так же буфетной продукцией.

Теплоснабжение школы осуществляется от теплового узла, расположенного на цокольном этаже здания. В тепловом пункте предусмотрена вентиляция, а так же аварийное освещение.

Горячее теплоснабжение осуществляется от школьного теплового пункта. Горячая вода проходящая на тепловой пункт, отдает часть своего тепла холодной воде, тем самым подогревая её. За счет этого отпадает необходимость в прокладке сетей горячего водоснабжения.

Холодное водоснабжение осуществляется от централизованной системы холодного водоснабжения.

В рассматриваемом муниципальном образовательном учреждении предусмотрена естественная и принудительная вентиляция. Принудительная вентиляция выполняется посредством вентиляторов. Она выполняется в местах большого скопления учащихся, а так же в местах, где по условиям охраны труда необходимо ее выполнение. К таким местам можно отнести тепловой пункт, спортзал, актовый зал, столовую, кухню и т.д.

В здании предусмотрена система автоматического отключения вентиляции при возникновении пожара. Данная система предназначена для уменьшения скорости развития пожара.

2 Определение расчетных электрических нагрузок по учреждению

К нагрузкам муниципального образовательного учреждения относятся:

- нагрузка общего освещения;
- нагрузка подключаемая через розеточную сеть;
- силовая нагрузка.

2.1 Определение электрических нагрузок силовых потребителей

Все электроприёмники (ЭП) приведены к ПВ = 100%. Для каждого ЭП выписываем соответствующие коэффициенты использования (k_u) и коэффициенты мощности ($\cos\varphi$).

Рассчитываем суммарную активную мощность каждой подгруппы электроприёмников:

$$P_{H.\Sigma} = P_{НОМ} \cdot n$$

Определяем коэффициент силовой сборки:

$$m = \frac{P_{H.МАКС}}{P_{H.МИН}}$$

Определяем среднюю активную и реактивную нагрузки для каждой подгруппы электроприёмников:

$$P_C = K_H \cdot P_{H.\Sigma}$$

$$Q_C = P_C \cdot \operatorname{tg}\varphi$$

Определяем средний коэффициент использования и среднее значение $\operatorname{tg}\varphi_{cp}$ и $\cos\varphi_{cp}$:

$$K_{H.CP} = \frac{\sum P_C}{\sum P_{H.\Sigma}}$$

$$\operatorname{tg} \varphi_{cp} = \frac{\sum Q_C}{\sum P_C}$$

Определяем эффективное число электроприёмников:

$$n_{\text{э}} = \frac{2 \cdot P_{H.\Sigma}}{P_{MAX}}$$

Определяем коэффициент максимума:

$$K_M = 1,34$$

Определяем расчётные активную и реактивную нагрузки трёхфазных электроприёмников:

$$P_P = K_M \cdot P_C$$

$$Q_P = Q_C$$

Определяем полную расчётную нагрузку:

$$S_P = \sqrt{P_P^2 + Q_P^2}$$

Определяем расчётный ток для электроприёмников рассчитываемого узла нагрузки:

$$I_P = \frac{S_P}{\sqrt{3} \cdot U_H}$$

Пример расчета электрических нагрузок

Произведем расчет электрической нагрузки печи электрической с жарочным шкафом номинальной мощностью $P_{\text{НОМ1}}=16,6$ кВт;

$$\Sigma P_{\text{НОМ1}} = P_{\text{НОМ1}} \cdot n_1 = 16,6 \cdot 1 = 16,6 \text{ кВт.}$$

$$P_{\text{ср1}} = K_u \cdot \Sigma P_{\text{НОМ1}} = 0,25 \cdot 16,6 = 4,15 \text{ кВт,}$$

где $P_{\text{НОМ1}}=16,6$ – номинальная мощность рабочих электроприемников;
 $K_u=0,25$ – групповой коэффициент использования.

$$\cos \varphi_1 = 0,95;$$

$$\text{tg} \varphi_1 = 0,017;$$

$$Q_{\text{ср1}} = \Sigma P_{\text{ср1}} \cdot \text{tg} \varphi_1 = 4,155 \cdot 0,017 = 0,07 \text{ квар,}$$

где $\text{tg} \varphi_1$ – соответствует групповому коэффициенту мощности.

Определяем коэффициент максимума:

$$K_M = 1,34$$

Определяем расчётные активную и реактивную нагрузки кондиционера:

$$P_{\text{р1}} = 1,34 \cdot 4,15 = 5,56 \text{ кВт;}$$

$$Q_{\text{р1}} = 0,07 \text{ квар.}$$

Определяем полную расчётную нагрузку:

$$S_p = 5,6 \text{ кВА.}$$

Определяем расчётный ток для электроприёмников рассчитываемого узла нагрузки:

$$I_p = 5,6 / (3 \cdot 0,23) = 8,1 \text{ А.}$$

Все расчеты сведены в таблицу 2.

2.2 Определение электрических нагрузок освещения

Расчет освещения ведётся по методу коэффициента использования светового потока.

Для учета освещенности каждого помещения, составим таблицу 1. В нее заносим нормы освещенности для каждого конкретного помещения, приводим количество светильников к нормируемой освещенности. Так же на поэтажном плане указываем освещенность в каждом помещении.

Определяем площадь помещения:

$$S = a \cdot b$$

где a – длина помещения, м; b – ширина помещения.

Определяем индекс помещения:

$$i = \frac{S}{(H - h) \cdot (a + b)}$$

где H – высота помещения, м; h – высота рабочей поверхности, м.

Определяем коэффициент запаса:

$$K_3 = 1,5.$$

Определяем коэффициенты отражения потолка, стен и пола:

Потолок: 70%

Стены: 50%

Пол: 20%

Определяем требуемое количество светильников:

$$N = \frac{E \cdot S \cdot K_3}{\eta \cdot n \cdot \Phi_{\text{л}}}$$

где E - требуемая горизонтальная освещённость, лк; S – площадь цеха, м²; K_3 - коэффициент запаса; η - коэффициент использования; n – количество ламп в светильнике; $\Phi_{\text{л}}$ – световой поток одной лампы.

Расчеты проводим в программе DiaLux, определяем по заданным нормам освещенности количество светильников и сводим их в таблицу 1.

Для освещения помещений в выпускной квалификационной работе преимущественно были выбраны светильники с различными типами люминесцентных ламп (ЛЛ- люминесцентная лампа с цоколем Т8; КЛЛ – компактная люминесцентная лампа, данная группа светильников включает в себя в том числе и U-образные люминесцентные лампы).

Таблица 1 – Расчет освещенности помещений учреждения

Название помещения	Освещенность, Лк	Площадь помещения, м2	Кол-во светильников, шт	Марка светильника	Тип лампы	Расчетный ток, А	Расчетная мощность, Вт	Полная мощность, ВА
1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Цокольный этаж							
Электрощитовая	20	7,22	2	НСП02-150	КЛЛ	0,9	196	217,7
Раздевалка	100	24,59	2	ALS.OPL 236	ЛЛ	0,65	144	160
Душевая, туалет	100	5,24	2	НБО07-60	КЛЛ	0,54	120	133,3
Зал атлетической гимнастики	200	61,43	12	ARS/S 418	ЛЛ	3,93	864	960
Служебное помещение	100	8,7	2	ARS/S 418	ЛЛ	0,65	144	160
Кабинет ритмика	200	48,32	12	ARS/S 418	ЛЛ	3,93	864	960
Раздевалка	100	11,48	2	ALS.OPL 236	ЛЛ	0,65	144	160
Туалет	75	3,89	1	НБО07-60	КЛЛ	0,3	60	66,6
Склад	50	24,86	5	KRK 118	КЛЛ	0,4	90	100
Лаборантская	400	24,75	12	ARS/R 418	ЛЛ	3,93	864	960
Тепловой узел	20	23,52	6	НСП02-150	КЛЛ	2,7	588	653,3

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Лаборантская	400	23,52	12	ARS/R 418	ЛЛ	3,93	864	960
Лыжная база	100	24,75	4	ALS.OPL 236	ЛЛ	1,3	288	320
Гардероб	150	24,86	5	ALS.OPL 236	ЛЛ	1,63	360	400
Кладовая	75	6,72	1	KRK 236	КЛЛ	0,33	72	80
Коридор	75	2,5	1	НБО07-60	КЛЛ	0,3	60	66,6
Туалет	75	1,10	1	НБО07-60	КЛЛ	0,3	60	66,6
Душевая	75	1,30	1	НБО07-60	КЛЛ	0,3	60	66,6
Кладовая	75	3,81	1	KRK 236	КЛЛ	0,33	72	80
Гардероб	150	48,32	8	ALS.OPL 236	ЛЛ	2,62	576	640
Кладовая	150	19,54	3	2x KRK 236 1x PUMA 1x60	КЛЛ	0,93	204	226,6
Библиотека	300	61,43	18	ARS/R 418	ЛЛ	5,9	1296	1440
Склад библиотеки	50	20,24	6	KRK 118	КЛЛ	0,5	108	120
Коридор	75	11,96	2	WRS/S 418	ЛЛ	0,65	144	160

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Коридор	75	156,22	14	WRS/S 418	ЛЛ	4,6	1008	1120
	Первый этаж							
Кабинет домоводства	400	63,83	28	ARS/R 418	ЛЛ	9,1	2016	2240
Лаборантская	400	13,02	6	ARS/R 418	ЛЛ	1,9	432	480
Мужской туалет	75	13,95	3	HCO02-150	КЛЛ	1,3	294	326,6
Стоматологический кабинет	300	12,4	6	ARS/R 418	ЛЛ	1,9	432	480
Медицинский кабинет	300	15,82	6	ARS/R 418	ЛЛ	1,9	432	480
Процедурный кабинет	500	15,47	8	ARS/R 418	ЛЛ	2,6	576	480
Коридор	300	4,08	1	WRS/R 418	ЛЛ	0,3	72	80
Бухгалтерия	300	17,56	6	ARS/R 418	ЛЛ	1,9	432	480
Кабинет зам.директора по УВР	300	15,75	6	ARS/R 418	ЛЛ	1,9	432	480

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Кабинет психолога	300	14,32	6	ARS/R 418	ЛЛ	1,9	432	480
Приемная	300	15,96	6	ARS/R 418	ЛЛ	1,9	432	480
Кабинет директора	300	33,81	9	ARS/R 418	ЛЛ	2,9	648	720
Обеденный зал	200	48,50	12	ARS/S 418	ЛЛ	3,9	864	960
Мойка	200	10,88	4	ПВЛМ 2x40	ЛЛ	1,4	320	355,5
Горячий цех	300	14,01	6	ПВЛМ 2x40	ЛЛ	2,1	480	533,3
Доготовочная	200	10,46	4	ALS.OPL 236	ЛЛ	1,3	288	320
Коридор	75	14,02	3	ALS.OPL 236	ЛЛ	0,9	216	240
Кладовая пищевых отходов	75	1,92	1	НБО07-60	КЛЛ	0,2	60	66,6
Кладовая овощей	75	3,52	1	НБО07-60	КЛЛ	0,2	60	66,6
Кондитерский цех	300	7,50	4	ALS.OPL 236	ЛЛ	1,3	288	320
Кладовая полуфабрикатов	75	9,36	2	KRK 236	КЛЛ	0,6	144	160
Коридор	75	9,62	1	ALS.OPL 236	ЛЛ	0,3	72	80

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Кладовая сухих-продуктов	75	3,26	1	KRK 236	КЛЛ	0,3	72	80	
Туалет	75	1,99	1	НБО07-60	КЛЛ	9,1	60	66,6	
Комната персонала	75	9,34	2	ALS.OPL 236	ЛЛ	1,9	144	160	
Коридор	75	7,68	1	ALS.OPL 236	ЛЛ	1,3	72	80	
Мастерская	300	62,92	24	ALS.OPL 236	ЛЛ	1,9	1728	1920	
Лаборантская	400	14,72	8	ARS/R 418	ЛЛ	1,9	576	640	
Склад мастерских	50	11,46	4	KRK 118	КЛЛ	2,6	72	80	
Коридор	75	72,88	8	WRS/R 418	ЛЛ	0,3	576	640	
Вестибюль	150	52,78	5 4	WRS/R 418 PUMA 1x60	ЛЛ	1,9	420	466,6	
Коридор	75	66,25	7	WRS/R 418	ЛЛ	1,9	504	560	
	Второй этаж								
Рабочая комната	300	10,32	6	ARS/R 418	ЛЛ	1,9	432	480	

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Учительская	300	49,35	18	ARS/R 418	ЛЛ	5,8	1296	1440
Кабинет завучей	300	12,4	6	ARS/R 418	ЛЛ	1,9	432	480
Женский туалет	50	12,18	2	HCO02-150	КЛЛ	0,89	196	217,7
Туалет для учителей	50	3,6	1	HCO02-150	КЛЛ	0,4	96	106,6
Кабинет начальных классов	300	49,35	18	ARS/R 418	ЛЛ	5,89	1296	1440
Кабинет начальных классов	300	48,76	18	ARS/R 418	ЛЛ	6,2	1368	1520
			2	BAT+RWU 136				
Кабинет начальных классов	300	51,12	18	ARS/R 418	ЛЛ	6,2	1368	1520
			2	BAT+RWU 136				
Кабинет начальных классов	300	46,81	18	ARS/R 418	ЛЛ	6,2	1368	1520
			2	BAT+RWU 136				
Кабинет иностранных языков	300	29,55	12	ARS/R 418	ЛЛ	4,2	936	1040
			2	BAT+RWU 136				

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Кабинет ОБЖ	300	35,58	12 2	ARS/R 418 BAT+RWU 136	ЛЛ	4,2	936	1040
Кабинет иностранных языков	300	33,45	12 2	ARS/R 418 BAT+RWU 136	ЛЛ	4,2	936	1040
Кабинет географии	300	49,35	18 2	ARS/R 418 BAT+RWU 136	ЛЛ	6,2	1368	1520
Кабинет физики	300	63,15	21 2	ARS/R 418 BAT+RWU 136	ЛЛ	7,2	1584	1760
Лаборантская	400	14,14	8	ARS/R 418	ЛЛ	2,6	576	640
Кабинет психолога	300	13,14	6	ARS/R 418	ЛЛ	1,9	432	480
Коридор	75	171,37	13	WRS/R 418	ЛЛ	4,2	936	1040
	Третий этаж							
Кабинет информатики	400	63,86	28 2	PRB/R 418 BAT+RWU 136	ЛЛ	9,5	2088	2320

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Лаборантская информатики	400	12,43	6	PRB/R 418	ЛЛ	1,9	432	480
Мужской туалет	50	13,14	3	HCO02-150	КЛЛ	1,3	288	320
Кабинет литературы	300	49,35	18	ARS/R 418	ЛЛ	6,2	1368	217,7
			2	BAT+RWU 136				
Кабинет иностранного языка	300	48,46	18	ARS/R 418	ЛЛ	6,2	1368	160
			2	BAT+RWU 136				
Кабинет математики	300	50,83	18	ARS/R 418	ЛЛ	6,2	1368	133,3
			2	BAT+RWU 136				
Кабинет математики	300	47,40	18	ARS/R 418	ЛЛ	6,2	1368	960
			2	BAT+RWU 136				
Кабинет иностранного языка	300	48,17	18	ARS/R 418	ЛЛ	6,2	1368	160
			2	BAT+RWU 136				
Кабинет иностранного языка	300	17,36	8	ARS/R 418	ЛЛ	2,6	576	960

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Кабинет иностранного языка	300	33,10	12	ARS/R 418	ЛЛ	4,2	936	160
			2	BAT+RWU 136				
Кабинет математики	300	49,35	18	ARS/R 418	ЛЛ	6,2	1368	66,6
			2	BAT+RWU 136				
Кабинет биологии	300	63,83	21	ARS/R 418	ЛЛ	7,2	1584	100
			2	BAT+RWU 136				
Лаборантская	400	14,14	8	ARS/R 418	ЛЛ	2,6	576	960
Кабинет педагога-психолога	300	11,22	6	ARS/R 418	ЛЛ	1,9	432	653,3
Коридор	75	171,37	13	WRS/R 418	ЛЛ	4,2	936	960
	Четвертый этаж							
Кабинет информатики	400	63,89	28	PRB/R 418	ЛЛ	9,5	2088	400
			2	BAT+RWU 136				
Лаборантская информатики	400	15,04	8	PRB/R 418	ЛЛ	2,61	576	80
Женский туалет	75	14,08	3	HCO02-150	КЛЛ	1,3	288	66,6

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Коридор	75	18,24	3	WRS/R 418	ЛЛ	0,98	216	66,6
Кабинет литературы	300	49,64	18	ARS/R 418	ЛЛ	6,2	1368	66,6
			2	BAT+RWU 136				
Тренерская	300	7,50	4	ARS/R 418	ЛЛ	1,3	288	80
Радевалка для девочек	100	5,70	1	ALS.OPL 236	ЛЛ	0,3	72	640
Раздевалка для мальчиков	100	5,70	1	ALS.OPL 236	ЛЛ	0,3	72	226,6
Спортивный зал	200	214,74	30	УСП-2x40	ЛЛ	10,9	2400	1440
Актальный зал	200	153,32	24	ARS/R 418	ЛЛ	7,85	1728	120
Кабинет истории	300	49,64	2	BAT+RWU 136	ЛЛ	0,32	72	160
Коридор	75	18,05	2	RTX 236	ЛЛ	1,9	432	1120
			2	ARS/R 418				
Кабинет завуча по воспитательной работе	300	13,82	6	ARS/R 418	ЛЛ	1,9	432	0
Лаборантская	400	14,14	8	ARS/R 418	ЛЛ	2,6	576	2240
Кабинет химии	300	63,83	24	ARS/R 418	ЛЛ	7,8	1728	480

Таблица 2 – Расчет электрических нагрузок по учреждению

№ п/п	Наименование узла питания или группы электроприёмников	Кол. ЭП, п	Установленная мощность, приведённая к ПВ=100%		m	K _и	cosφ/tgφ	Средняя нагрузка		пЭ	K _М	Расчётная нагрузка			I _р , А
			Одного ЭП РН, кВт	Всех ЭП РН, кВт				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
1	Водонагреватель на 50л	1	1,5	1,5		0,4	0,97/0,2	0,6	0,15	-	-	0,9	1,54	0,912	-
2	Вытяжной вентилятор (актовый зал, четвертый этаж)	1	0,5	0,5		0,8	0,85/0,6	0,4	0,24	-	-	0,6	0,5	0,64	-
3	Вытяжной вентилятор(кухня, первый этаж)	1	0,63	0,63		0,8	0,85/0,6	0,504	0,31	-	-	0,756	0,74	0,817	-
4	Вытяжной вентилятор(мастерские, первый этаж)	1	0,1	0,1		0,8	0,85/0,6	0,08	0,04	-	-	0,12	0,11	0,12	-
5	Вытяжной вентилятор(мед.помещения, первый этаж)	1	0,07	0,07		0,8	0,85/0,6	0,056	0,03	-	-	0,084	0,08	0,09	-
6	Вытяжной вентилятор(Спортзал, четвертый этаж)	1	1,24	1,24		0,8	0,85/0,6	0,992	0,61	-	-	1,488	1,45	1,61	-

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
7	Картофеле- очистительная машина	1	1,5	1,5		0,25	0,85/0,6	0,375	0,23	-	-	0,5625	1,76	0,6	-
8	Кипятильник	1	12	12		0,2	1/0	2,4	0	-	-	3,6	12	3,6	-
9	Комплект электропитания кабинета физики	1	1	1		0,56	0,87/0,56	0,56	0,31	-	-	0,84	1,14	0,89	-
10	Комплект электропитания кабинета химии	1	1	1		0,56	0,87/0,56	0,56	0,31	-	-	0,84	1,15	0,89	-
11	Компрессор стоматологический	1	0,85	0,85		0,3	0,85/0,6	0,255	0,15	-	-	0,3825	1	0,41	-
12	Компьютер персональный	42	0,35	14,7		0,4	0,8/0,75	5,88	4,41	-	-	8,82	0,43	9,86	-
13	Компьютерная сеть	1	0,7	0,7		0,5	0,8/0,75	0,35	0,26	-	-	0,525	0,87	0,58	-
14	Копировальный аппарат	1	0,3	0,3		0,4	0,75/0,88	0,12	0,10	-	-	0,18	0,4	0,2	-
15	Котел пищеварочный	1	18,9	18,9		0,25	1/0	4,725	0	-	-	7,0875	18,9	7,08	-
16	Ларь морозильный с глухой крышкой	2	0,8	1,6		0,8	0,4/2,3	1,28	2,93	-	-	1,92	2	3,5	-
17	Мармит стационарный	1	2,5	2,5		0,2	0,7/1	0,5	0,51	-	-	0,75	3,57	0,9	-
18	Машина вейная с электроприводом	5	1	5		0,2	0,51,7	1	1,73	-	-	1,5	2	2,29	-

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
19	Машина посудомоечная	1	6,85	6,85		0,3	0,7/1	2,055	2,09	-	-	3,0825	9,78	3,72	-
20	Машина тестомесительная	1	1,1	1,1		0,25	0,85/0,6	0,275	0,17	-	-	0,4125	1,29	0,44	-
21	Местный вентиляционный отсос	2	0,6	1,2		0,5	0,85/0,6	0,6	0,37	-	-	0,9	0,7	0,97	-
22	Овощерезка	1	0,4	0,4		0,2	0,85/0,6	0,08	0,04	-	-	0,12	0,47	0,12	-
23	Пароконвектомат	1	16	16		0,3	0,95/0,3	4,8	1,57	-	-	7,2	16,8	7,37	-
24	Печь муфельная	1	3	3		0,15	0,95/0,3	0,45	0,14	-	-	0,675	3,1	0,69	-
25	Печь электрическая с жарочным шкафом	1	16,6	16,6		0,25	1/0	4,15	0	-	-	6,225	16,6	6,225	-
26	Пожарная сигнализация	1	1	1		0	1/0	0	0	-	-	0	1	0	-
27	Прибор для отчистки воздуха от бактерий передвижной	2	0,09	0,18		0,5	0,85/0,6	0,09	0,05	-	-	0,135	0,1	0,14	-
28	Привод универсальный	1	1,5	1,5		0,4	0,85/0,6	0,6	0,37	-	-	0,9	1,76	0,97	-
29	Приточный вентилятор (тепловой узел, цокольный этаж)	1	1,9	1,9		0,8	0,85/0,6	1,52	0,94	-	-	2,28	2,23	2,46	-
30	Приточный вентилятор(мастерские, первый этаж)	1	6,13	6,13		0,8	0,85/0,6	4,904	3,03	-	-	7,356	7,21	7,95	-

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
31	Приточный вентилятор(Обеденный зал, первый этаж)	1	1,05	1,05		0,8	0,85/0,6	0,84	0,52	-	-	1,26	1,23	1,363	-
32	Пульт управления	3	1	3		0	1/0	0	0	-	-	0	1	0	-
33	Рукосушитель	12	1,5	18		0,3	0,94/0,36	5,4	1,95	-	-	8,1	1,59	8,33	-
34	Сковорода электрическая	1	6	6		0,25	1/0	1,5	0	-	-	2,25	6	2,25	-
35	Слайсер	1	0,19	0,19		0,2	0,9/0,48	0,038	0,01	-	-	0,057	0,2	0,059	-
36	Станок горизонтально-фрезерный настольный	1	0,6	0,6		0,25	0,5/1,73	0,15	0,25	-	-	0,225	1,2	0,34	-
37	Станок заточный настольный	2	0,51	1,02		0,25	0,85/0,6	0,255	0,15	-	-	0,3825	0,6	0,41	-
38	Станок сверлильный настольный	1	0,7	0,7		0,25	0,5/1,7	0,175	0,3	-	-	0,2625	1,4	0,40	-
39	Станок токарно винторезный	3	0,6	1,8		0,25	0,5/1,7	0,45	0,77	-	-	0,675	1,2	1,03	-
40	Станок фруктоважно-пильный	1	1,1	1,1		0,25	0,85/0,6	0,275	0,17	-	-	0,4125	1,29	0,44	-
41	Стерилизатор воздушный	1	1,5	1,5		0,4	0,6/1,3	0,6	0,8	-	-	0,9	2,5	1,2	-
42	Установка стоматологическая	1	0,27	0,27		0,3	0,6/1,3	0,081	0,1	-	-	0,1215	0,45	0,16	-
43	Утюг с терморегуляторов	1	1	1		0,2	0,95/0,3	0,2	0,06	-	-	0,3	1	0,30	-

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
44	Холодильник бытовой	2	0,15	0,3		0,8	0,4/2,3	0,24	0,54	-	-	0,36	0,37	0,65	-
45	Шкаф жарочный	1	9,2	9,2		0,25	0,98/0,2	2,3	0,46	-	-	3,45	9,387	3,48	-
46	Шкаф расстойный	1	1,6	1,6		0,3	0,85/0,6	0,48	0,29	-	-	0,72	1,36	0,779	-
47	Шкаф холодильный	3	0,4	1,2		0,8	0,4/2,2	0,96	2,19	-	-	1,44	1	2,629	-
48	Электрофицированная задвижка	1	0,18	0,18		0,1	0,85/0,6	0,018	0,01	-	-	0,027	0,2	0,029	-
	Итого			47,1		0,41	0,79/0,75	54,12	29,87	14	1,5	81,18	29,87	90,08	130,7
	Розеточная											74	44	86	124,8
	Осветительная нагрузка											40,6	19,8	45	65,3
	Итого с освещением											195,78	93,67	221	318,49

2.3 Выбор числа и мощности трансформаторов с учетом компенсации реактивной мощности

Электрическая сеть учреждения представляет собой единое целое, и правильно выбрать средства компенсации для сетей напряжением до 1000 В и выше можно только при совместном решении задачи выбора всех элементов сети (трансформаторов, токопровода, источников реактивной мощности и т.д.)

Исходными данными являются:

$$P_{p\Sigma} = 195,78 \text{ кВт}; Q_{p\Sigma} = 93,6 \text{ квар}; S_{p\Sigma} = 221 \text{ кВА}.$$

Рассмотрим установку КТП с трансформатором ТМГ 160/10.

$$P_{xx} = 415 \text{ Вт}; P_{кз} = 2900 \text{ Вт}; K_3 = 0,7; U_{кз} = 4,7\%; S_H = 160 \text{ кВА}; i_0 = 3\%$$

$$N_T = \frac{P_{p\Sigma}}{K_3 \cdot S_H} = \frac{195,78}{0,7 \cdot 160} = 1,7$$

К установке принимаем $N_T = 2$. Потери в трансформаторах:

$$\Delta P_T = N_T \cdot (P_{xx} + K_3^2 \cdot P_{кз}) = 2 \cdot (415 + 0,7^2 \cdot 2900) = 4,8 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q_T = N_T \cdot (i_0 + K_3^2 \cdot U_{кз}) \cdot \frac{S_H}{100} = 2 \cdot (3 + 0,7^2 \cdot 4,7) \cdot \frac{160}{100} = 16,9 \text{ квар}$$

Расчетная нагрузка учреждения с учетом потерь в трансформаторах:

$$P_p = P_{p\Sigma} + \Delta P_T = 195,78 + 4,8 = 200,58 \text{ кВт};$$

$$Q_p = Q_{p\Sigma} + \Delta Q_T = 93,6 + 16,9 = 110,5 \text{ квар}.$$

Реактивная мощность в часы минимума нагрузки:

$$Q_{\min} = 50\% \cdot Q_p = 55,25 \text{ квар.}$$

1. Экономически обоснованные значения реактивной мощности в часы максимума энергосистемы:

$$Q'_{\text{э1}} = Q_p - 0,9 \cdot Q_{\text{сд}} = 110,5 \text{ квар};$$

$$Q''_{\text{э1}} = \alpha \cdot P_p = 0,28 \cdot 200,58 = 56,16 \text{ квар.}$$

где $\alpha = 0,28$; $Q_{\text{сд}} = 0$.

Из-за пониженного напряжения в часы максимальных нагрузок принимаем меньшее из значений:

$$Q_{\text{э1}} = 56,16 \text{ квар}$$

2. Экономически обоснованные значения реактивной мощности в режиме наименьших нагрузок:

$$Q'_{\text{э2}} = Q_{\min} + Q_{\kappa} = 55,25 \text{ квар}, \quad \text{где } Q_{\kappa} = 0;$$

$$Q''_{\text{э2}} = Q_{\min} - Q_{\text{кд}} = Q_{\min} - (Q_p - Q_{\text{э1}}) = 55,25 - (110,5 - 56,16) = 0,91 \text{ квар}.$$

Из-за повышенного напряжения в часы минимальных нагрузок принимаем значение мощности:

$$Q_{\text{э2}} = 55,25 \text{ квар}.$$

3. Суммарная мощность компенсирующих устройств:

$$Q_{\text{кв. max}} = 1.1 \cdot Q_p - Q_{\text{э1}} = 1.1 \cdot 110,5 - 56,16 = 65,39 \text{квар}$$

$$Q_{\text{кв. min}} = Q_{\text{min}} - Q_{\text{э2}} = 55,25 - 55,25 = 0$$

Исходя из полученного результата $Q_{\text{кв max}}=65,39$ квар, устанавливать КУ нецелесообразно.

Произведем выбор числа и мощности цеховых трансформаторов с учетом компенсации реактивной мощности.

На КТП имеется один уровень напряжения: 0,4 кВ. Данный потребитель относится ко II категории надежности. Следовательно на КТП необходимо установить два двухобмоточных трансформатора.

$$2 \cdot S_{\text{номТ}} \geq 221 \text{кВА.}$$

Для выбора оптимального трансформатора рассмотрим два варианта КТП с использованием различных силовых трансформаторов:

1. ТМГ – 160 / 10 / 0,4
2. ТМГ – 250 / 10 / 0,4

Технические параметры трансформаторов приведены в таблице 3.

1. ТМГ – 160/10/0,4

$$\text{Число трансформаторов: } N_{\text{T}} = \frac{P_{\text{p}\Sigma}}{K_{\text{з}} \cdot S_{\text{ном}}} = \frac{221}{0,7 \cdot 160} = 1,7.$$

Реактивная мощность, которая должна быть передана из сети 10 кВ в сеть напряжением до 1кВ и не должна компенсироваться:

$$Q_{\text{эи}} = Q_{\text{э1}} - (Q_p - Q_{\text{p}\Sigma}) = 56,16 - (110,5 - 93,6) = 39,26 \text{квар}.$$

Реактивная мощность, которая может быть передана из сети 10 кВ в сеть напряжением до 1кВ:

$$Q_T = \sqrt{(N_T \cdot K_3 \cdot S_{н.Т})^2 - P_{p\Sigma}^2} = \sqrt{(2 \cdot 0,7 \cdot 160)^2 - 195,78^2} = 133,5 \text{квар}.$$

Таблица 3 – Данные сравниваемых трансформаторов

Тип	S _{НОМ} , кВА	Каталожные данные.						
		U _{НОМ} обмоток, кВ		U _к , %	ΔP _{кз} , кВт	ΔP _{хх} , кВт	I _х , %	Цена, тыс.руб.
		ВН	НН					
ТМГ 160/10/0,4	160	10	0,4	4,7	2,9	0,4	2	150
ТМГ 250/10/0,4	250	10	0,4	4,5	4,2	0,58	2	190

Мощность КУ, устанавливаемых на стороне до 1кВ:

$$Q_{KV.н} = Q_{p\Sigma} - Q_T = 93,6 - 133,5 = -39,9 = 0 \text{квар}.$$

Мощность КУ, которые могут быть установлены на стороне 10кВ:

$$Q_{KV.в} = Q_{KV.маx} - Q_{KV.н} = 65,39 - 0 = 65,39 \text{квар}.$$

Так как $Q_{KV.в} < 800 \text{квар}$, то установка БК на стороне 10кВ не целесообразна.

Затраты на установку ТП с трансформаторами ТМГ 160/10,5.

$$Z_{КТП} = E \cdot K_{ТП} + C \cdot \Delta P_T = 0,262 \cdot 150 \cdot 2 + 280,3 = 358,9 \text{ тыс.руб.}$$

Стоимость ТП $K_{ТП} = 150 \text{ тыс.руб.}$

$$C = \left(\frac{\alpha}{T_M} + \beta \cdot 10^{-2} \right) \cdot \tau = 53,8 \text{ руб} / \text{кВт} \cdot \text{год}$$

$$C \cdot \Delta P_T = C_0 \cdot \Delta P_{XX} + C \cdot K_3^2 \cdot \Delta P_{КЗ} = 512,46 \cdot 0,4 + 53 \cdot 0,7^2 \cdot 2,9 = 280,3$$

$$C_0 = \left(\frac{\alpha}{T_M} + \beta \cdot 10^{-2} \right) \cdot T_p = 512,46 \text{ руб} / \text{кВт} \cdot \text{год}$$

$$\tau = \left(0,124 + \frac{T_M}{10000} \right)^2 \cdot T_p = 919,58 \text{ ч};$$

$$\alpha = 117 \text{ руб} / \text{кВт}; \beta = 0,27 \text{ руб} / \text{кВт} \cdot \text{ч}; T_M = 2000 \text{ ч}; T_p = 8760 \text{ ч};$$

$$\Delta P_{XX} = 1,05 \text{ кВт}; \Delta P_{КЗ} = 7,6 \text{ кВт}$$

$$Z_{общие} = Z_{КУ} + Z_{КТП} = 0 + 280,3 = 358,9 \text{ тыс.руб.}$$

Находим приведенные потери мощности по формуле:

$$P'_T = P'_x + K_3^2 \cdot P'_к;$$

$$P'_T = 0,56 + 0,69^2 \cdot 1,638 = 1,33 \text{ кВт},$$

где коэффициент загрузки трансформатора:

$$K_3 = \frac{S_n}{S_{ном.Т}} = \frac{221}{160 \cdot 2} = 0,69.$$

Приведенные потери активной мощности трансформатора в режиме

х.х.

$$P'_x = \Delta P_x + K_{un} \cdot Q_x = 0,4 + 0,05 \cdot 3,2 = 0,56 \text{ кВт}.$$

$$\text{где: } Q_x = \frac{I_x(\%)}{100} \cdot S_{\text{ном.Т}} = \frac{2}{100} \cdot 160 = 3,2 \text{квар.}$$

Приведенные потери активной мощности К.З. обмоток трансформатора:

$$P'_k = P_k + K_{\text{ин}} \cdot Q_k = 1,45 + 0,05 \cdot 3,76 = 1,638,$$

где P_k - потери активной мощности К.З. обмоток трансформатора при 100% их загрузки определяются из выражения

$$P_k = 0,5 \cdot \Delta P_k = 0,5 \cdot 2,9 = 1,45 \text{кВт},$$

а потери реактивной мощности обмоток трехфазного трансформатора в режиме К.З. (квар) из выражений:

$$Q_k = \frac{U_k(\%)}{100} \cdot S_{\text{ном.Т}} = \frac{2,35}{100} \cdot 160 = 3,76 \text{квар},$$

где $U_k = 0,5 \cdot U_{\text{к}} = 0,5 \cdot 4,7 = 2,35\%$.

2. ТМГ – 250 / 10 / 0,4

$$\text{Число трансформаторов: } N_T = \frac{P_{p\Sigma}}{K_3 \cdot S_{\text{ном}}} = \frac{195,78}{0,7 \cdot 250} = 1,1.$$

Реактивная мощность, которая должна быть передана из сети 10 кВ в сеть напряжением до 1кВ и не должна компенсироваться:

$$Q_{\text{эн}} = Q_{\text{с1}} - (Q_p - Q_{p\Sigma}) = 56,16 - (110,5 - 93,6) = 39,26 \text{квар}.$$

Реактивная мощность, которая может быть передана из сети 10 кВ в сеть напряжением до 1кВ:

$$Q_T = \sqrt{(N_T \cdot K_3 \cdot S_{\text{н.Т}})^2 - P_{p\Sigma}^2} = \sqrt{(2 \cdot 0,7 \cdot 250)^2 - 195,78^2} = 290 \text{квар}.$$

Мощность КУ, устанавливаемых на стороне до 1кВ:

$$Q_{KV.n} = Q_{p\Sigma} - Q_T = 93,6 - 290 = -196,4 \text{ квар.}$$

Мощность КУ, которые могут быть установлены на стороне 10 кВ:

$$Q_{KV.в} = Q_{KV.max} - Q_{KV.n} = 65,39 + 196,4 = 261,39 \text{ квар.}$$

Так как $Q_{KV.в} < 800 \text{ квар}$, то установка БК на стороне 10кВ нецелесообразна.

Затраты на установку ТП с трансформаторами ТМГ 250/10/0,4:

$$Z_{КТП} = E \cdot K_{ТП} + C \cdot \Delta P_T = 0,262 \cdot 190 \cdot 2 + 421,6 = 521,2 \text{ тыс. руб.}$$

где $K_{ТП} = 190 \text{ тыс. руб.}$;

$$C = \left(\frac{\alpha}{T_M} + \beta \right) \cdot \tau = 53,8 \text{ руб / кВт} \cdot \text{год};$$

$$C \cdot \Delta P_T = C_0 \cdot \Delta P_{XX} + C \cdot K_3^2 \cdot \Delta P_{K3} = 536,112 \cdot 0,58 + 53,8 \cdot 0,7^2 \cdot 4,2 = 421,6$$

$$C_0 = \left(\frac{\alpha}{T_M} + \beta \cdot 10^{-2} \right) \cdot T_p = 536,112 \text{ руб / кВт} \cdot \text{год}$$

$$\tau = \left(0,124 + \frac{T_M}{10000} \right)^2 \cdot T_p = 920 \text{ ч}$$

$$\alpha = 117 \text{ руб / кВт}; \beta = 0,7; T_M = 2000 \text{ ч}; T_p = 8760 \text{ ч};$$

$$\Delta P_{XX} = 1,55 \text{ кВт}; \Delta P_{K3} = 10,2 \text{ кВт}$$

$$Z_{общие} = Z_{KV} + Z_{КТП} = 0 + 104513,88 = 521,2 \text{ тыс. руб.}$$

Находим приведенные потери мощности по формуле:

$$P'_T = P'_x + K_3^2 \cdot P'_\kappa,$$

$$P'_T = 0,83 + 0,442^2 \cdot 2,38 = 1,29$$

где K_3 - коэффициенты загрузки трансформатора:

$$K_3 = \frac{S_n}{S_{ном.Т}} = \frac{221}{2 \cdot 250} = 0,442$$

Приведенные потери активной мощности трансформатора в режиме х.х.

$$P'_x = \Delta P_x + K_{un} \cdot Q_x = 0,58 + 0,05 \cdot 5 = 0,83 \text{ кВт},$$

где $Q_x = \frac{I_x(\%)}{100} \cdot S_{ном.Т} = \frac{2}{100} \cdot 250 = 5 \text{ квар}$

Приведенные потери активной мощности К.З. обмоток трансформатора:

$$P'_к = P_к + K_{un} \cdot Q_к = 2,1 + 0,05 \cdot 5,6 = 2,38,$$

где потери активной мощности К.З. обмоток трансформатора при 100% их загрузки определяются из выражения:

$$P_к = 0,5 \cdot \Delta P_к = 0,5 \cdot 4,2 = 2,1 \text{ кВт},$$

а потери реактивной мощности обмоток трехфазного трансформатора в режиме К.З. (квар) из выражений:

$$Q_к = \frac{U_к(\%)}{100} \cdot S_{ном.Т} = \frac{2,25}{100} \cdot 250 = 5,6 \text{ квар},$$

где $U_к = 0,5 \cdot U_к = 0,5 \cdot 4,5 = 2,25\%$.

Экономическая целесообразность выбора трансформатора определяется методом приведенных затрат:

$$Z_{np} = E_H \cdot K + I = E_H \cdot K + I_0$$

где K – капитальные затраты на оборудование ТП (учитывается только стоимость трансформаторов ТП для рассматриваемых вариантов), руб.;
 $E_H = 0,15$ – нормативный коэффициент дисконтирования; I – годовые эксплуатационные издержки, руб.;

1) $I_0 = p_{сум} \cdot K = 0,084 \cdot 150000 = 12600$ – годовые отчисления, руб.;

2) $I_0 = p_{сум} \cdot K = 0,084 \cdot 190000 = 15960$ – годовые отчисления, руб.;

1) $Z_{np} = E_H \cdot K + I_0 = 0,15 \cdot 150000 + 12600 = 35100$, руб.;

2) $Z_{np} = E_H \cdot K + I_0 = 0,15 \cdot 190000 + 15960 = 67860$, руб.;

По приведенным затратам окончательно принимаем к установке два трансформатора ТМГ 160/10/0,4.

3 Расчет токов короткого замыкания

3.1 Расчет токов КЗ на стороне выше 1000 В

Расчет токов к.з. необходим для получения данных, необходимых для проверки выбранного электрооборудования, кабелей и коммутационных аппаратов. Расчет проводится в относительных единицах (о.е.) по формулам приближенного приведения. Произвольно задается базисная мощность S_0 (МВА) и базисное напряжение U_0 (кВ). Для данного расчета выбираем напряжение ступени 10,5 кВ и $S_0 = 1000$ МВА. Мощность короткого замыкания принята $S_k = 31,5$ МВА.

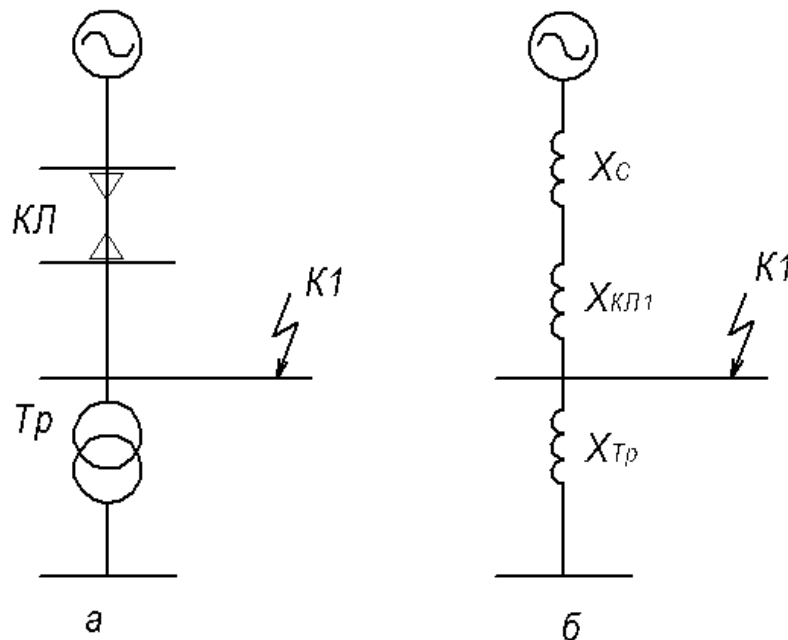


Рисунок 1 - Расчетная электрическая схема (а) и схема замещения (б)

Короткое замыкание в точке К1.

Результирующее сопротивление до точки К1:

$$x_{*рез(б)} = x_{*б,с} + x_{*кЛб} = 31,7 + 7,98 = 39,68(о.е.),$$

где $x_{*к\lambda\delta} = x_{y\delta} \cdot l \cdot \frac{S_{\delta}}{U_{BH}^2} = 7,98$ (о.е) - сопротивление линии,

$x_{*\delta,c} = \frac{S_{\delta}}{S_k} = 31,7$ (о.е) - сопротивление системы.

Базисный ток $I_{\delta} = \frac{S_{\delta}}{\sqrt{3} \cdot U_{\delta}} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 54,98$ кА.

Начальное действующее значение периодической составляющей тока к.з. :

$$I_{n,o}^3 = \frac{E_{*\delta}''}{x_{*рез(\delta)}} \cdot I_{\delta} = \frac{1}{39,68} \cdot 54,98 = 1,38 \text{ кА}$$

Ударный ток к.з.:

$$i_{y\delta} = \sqrt{2} \cdot I_{n,o} \cdot k_{y\delta} = \sqrt{2} \cdot 1,38 \cdot 1,9 = 3,7 \text{ кА},$$

где $k_{уд}=1,9$ –ударный коэффициент.

3.2 Расчет токов КЗ на стороне ниже 1000В

Расчёты выполняются в соответствии с методикой, рекомендованной ГОСТ 28249 – 93 на расчёты токов КЗ в сетях напряжением до 1 кВ. Токи коротких замыканий рассчитываются в четырех точках согласно расчётной электрической схеме и схеме замещения, изображённых на рисунке 2:

К2 –на шинах КТП 0.4 кВ;

К3 –на самом близком приемнике;

К4 – на самом мощном приемнике.

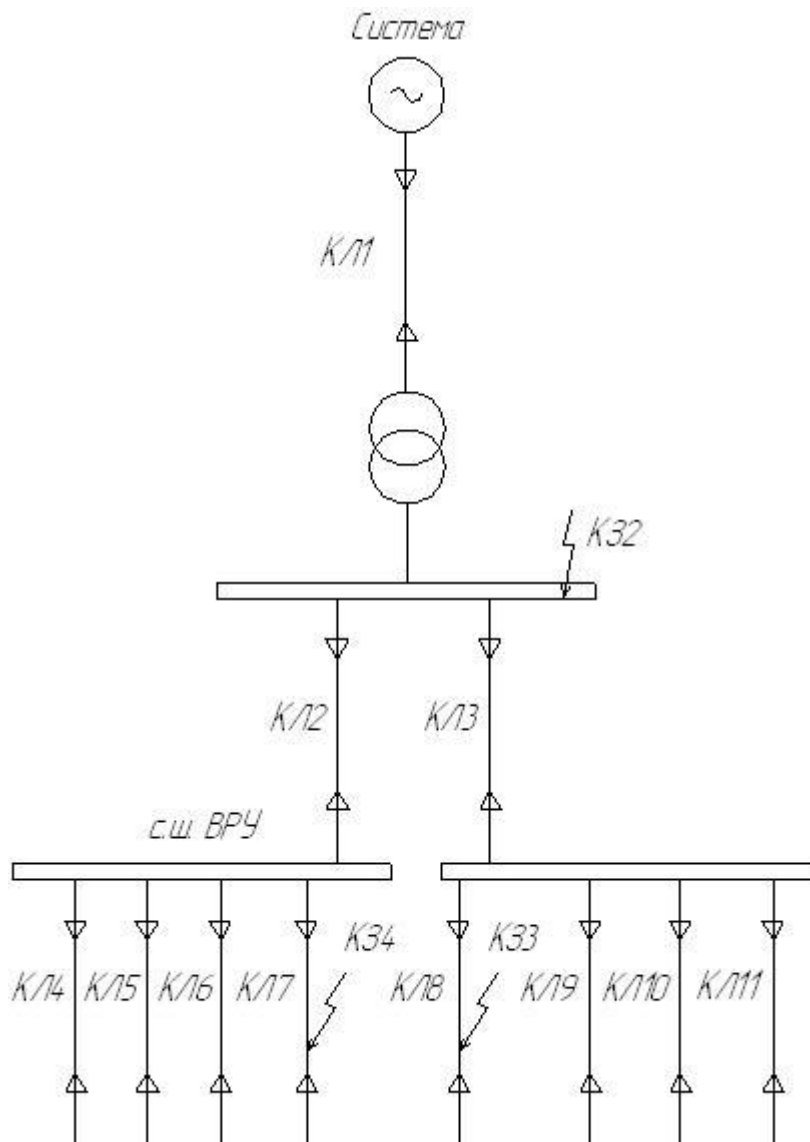


Рисунок 2 – Схема КЗ на стороне ниже 1000В

Расчеты токов к.з. в трехфазных сетях переменного тока напряжением до 1кВ выполняются в именованных единицах (мОм), в отличие от расчетов в электроустановках выше 1 кВ.

Параметры расчётной схемы:

Кабельная линия КЛ1:

$$l = 180 \text{ м};$$

$$R_{\text{уд}} = 0,035 \text{ мОм/м};$$

$$X_{уд} = 0,024 \text{ мОм/м};$$

$$R_{кЛП} = R_{уд} \cdot l = 0,035 \cdot 180 = 6,3 \text{ мОм};$$

$$X_{кЛП} = X_{уд} \cdot l = 0,024 \cdot 180 = 4,32 \text{ мОм}.$$

Трансформатор Т1:

ТМГ – 160/10; схема соединения обмоток Δ / Y_0 ;

$$S_H = 160 \text{ кВА};$$

$$U_{HВН} = 10,5 \text{ кВ}; \quad U_{HНН} = 0,4 \text{ кВ};$$

$$U_K = 4,7 \text{ \%}; \quad P_{кз} = 2,9 \text{ кВт}.$$

$$R_T = \frac{P_{кз} \cdot U_{HНН}^2}{S_H^2} 10^6 = \frac{2,9 \cdot 0,4^2}{160^2} 10^6 = 45,3 \text{ мОм};$$

$$Z_T = \frac{U_K \cdot U_{HНН}^2}{S_H} 10^4 = \frac{4,7 \cdot 0,4^2}{160} 10^4 = 47 \text{ мОм};$$

$$X_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2} = \sqrt{47^2 - 45,3^2} = 12,5 \text{ мОм}.$$

Предохранитель на вводе в ВРУ:

$$\text{ПН-2 600 } I_H = 600 \text{ А};$$

$$R_{пн2-600} = 0,14 \text{ мОм}.$$

Автоматический выключатель АВ:

$$\text{ВА88-32, } I_H = 125 \text{ А};$$

$$R_{AB2} = 0,14 \text{ мОм};$$

$$X_{AB2} = 0,08 \text{ мОм}.$$

Предохранитель на 1 линии отходящей от ВРУ:

$$\text{ПН-2 250 } I_H = 250 \text{ A};$$

$$R_{\text{пн2-250}_1} = 0,14 \text{ мОм.}$$

Линия отходящая от ВРУ Л1, ПВ3-4(1x35)+(1x16):

$$l = 59,19 \text{ м};$$

$$R_{\text{уд}} = 0,03 \text{ мОм/м};$$

$$X_{\text{уд}} = 0,014 \text{ мОм/м};$$

$$R_{\text{л1}} = 59,19 \cdot 0,03 = 1,7 \text{ мОм};$$

$$X_{\text{л1}} = 59,19 \cdot 0,014 = 0,8 \text{ мОм.}$$

Автоматический выключатель АВ2:

$$\text{ВА47} - 100, I_H = 80 \text{ A};$$

$$R_{\text{ав2}} = 0,41 \text{ мОм}; X_{\text{ав2}} = 0,13 \text{ мОм.}$$

Предохранитель на 2 линии отходящей от ВРУ:

$$\text{ПН-2 250 } I_H = 250 \text{ A};$$

$$R_{\text{пн2-250}_2} = 0,14 \text{ мОм.}$$

Линия отходящая от ВРУ Л2, ПВ3-4(1x25)+(1x16):

$$l = 28,8 \text{ м};$$

$$R_{\text{уд}} = 0,03 \text{ мОм/м};$$

$$X_{\text{уд}} = 0,014 \text{ мОм/м};$$

$$R_{Л2} = 28,8 \cdot 0,03 = 0,864 \text{ мОм};$$

$$X_{Л2} = 28,8 \cdot 0,014 = 0,4 \text{ мОм}.$$

Приведённые выше параметры требуются для расчёта токов КЗ в точках К1, К2, К3.

Расчёт токов короткого замыкания:

$$X_c = \frac{U_B}{S_{\text{кз.сис}}} \times 1000 = \frac{0,4^2}{31,5} \times 1000 = 5,07 \text{ мОм},$$

Для КЗ в точке К1:

Ток металлического трехфазного к.з. $I_{\text{КМ}}^{(3)}$ в т К1 определяется по формуле:

$$I_{\text{КМ}}^{(3)} = \frac{U_{\text{нн}}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\Sigma}^{(3)}} = \frac{U_{\text{нн}}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_{\Sigma}^2 + X_{\Sigma}^2}}.$$

По схеме замещения суммарные сопротивления R_{Σ} и X_{Σ} определяются арифметическим суммированием до точки к.з.:

$$R_{\Sigma\text{К1}} = R_T + R_{\text{КЛ1}} + R_{\text{ин2-600}} = 6,3 + 45,3 + 0,14 = 51,74 \text{ мОм};$$

$$X_{\Sigma\text{К1}} = X_{\text{КЛ1}} + X_T = 4,32 + 12,5 = 16,82 \text{ мОм}.$$

Полное суммарное сопротивление до точки К2:

$$Z_{\Sigma\text{К1}} = \sqrt{R_{\Sigma\text{К1}}^2 + X_{\Sigma\text{К1}}^2} = \sqrt{51,74^2 + 16,82^2} = 54,4 \text{ мОм}.$$

Ток трехфазного металлического к.з.:

$$I_{K1}^{(3)} = \frac{U_{HH}}{\sqrt{3} \cdot Z_{K1}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 54,4} = 4,2 \text{ кА.}$$

Ударный ток K2 определяется по формуле:

$$i_{уд} = k_y \cdot \sqrt{2} \cdot I_{K1}^{(3)}$$

где $k_{уд}$ – ударный коэффициент, который определяется по графику.

$$\frac{X_{\Sigma}}{R_{\Sigma}} = \frac{16,82}{51,74} = 0,32 \text{ - этому отношению соответствует } K_y = 1,2.$$

Определяем ударный ток:

$$i_{уд} = 1,2 \cdot \sqrt{2} \cdot 4,2 = 11,87 \text{ кА.}$$

Для тока короткого замыкания в точке K3:

$$R_{\Sigma K2} = R_{\Sigma K1} + R_{AB2} + R_{Л1} + R_{шт2-250_1} = 51,4 + 0,14 + 0,14 + 1,7 = 53,38 \text{ мОм;}$$

$$X_{\Sigma K2} = X_{\Sigma K1} + X_{AB2} + X_{Л1} = 16,82 + 0,13 + 0,8 = 17,75 \text{ мОм}$$

$$Z_{\Sigma K2} = \sqrt{R_{\Sigma K2}^2 + X_{\Sigma K2}^2} = \sqrt{53,38^2 + 17,75^2} = 56,25 \text{ мОм;}$$

$$I_{K2}^{(3)} = \frac{U_{HH}}{\sqrt{3} \cdot Z_{K2}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 56,25} = 4,1 \text{ кА;}$$

$$\frac{X_{\Sigma K2}}{R_{\Sigma K2}} = 0,33 \Rightarrow K_{y K2} = 1,2;$$

$$i_{y K2} = \sqrt{2} \cdot K_{y K2} \cdot I_{K2}^{(3)} = 6,9 \text{ кА.}$$

Для тока короткого замыкания в точке К4:

$$R_{\Sigma K2} = R_{\Sigma K1} + R_{AB2} + R_{JL2} + R_{\text{ин2-250}_2} = 51,4 + 0,41 + 0,84 + 0,14 = 52,79 \text{ мОм};$$

$$X_{\Sigma K2} = X_{\Sigma K1} + X_{AB2} + X_{JL2} = 16,82 + 0,41 + 0,4 = 17,63 \text{ мОм};$$

$$Z_{\Sigma K3} = \sqrt{R_{\Sigma K3}^2 + X_{\Sigma K3}^2} = \sqrt{52,79^2 + 17,63^2} = 55,65 \text{ мОм};$$

$$I_{K3}^{(3)} = \frac{U_{H \text{ HH}}}{\sqrt{3} \cdot Z_{K3}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 55,65} = 4,1 \text{ кА};$$

$$\frac{X_{\Sigma K3}}{R_{\Sigma K3}} = 0,33 \Rightarrow K_{y K3} = 1,2;$$

$$i_{y K3} = \sqrt{2} \cdot K_{y K3} \cdot I_{K3}^{(3)} = 6,95 \text{ кА}.$$

Данные расчетов сведены в таблицу 4:

Таблица 4 - Расчет токов КЗ

№ п/п	U _н , кВ	K _{уд}	I ⁽³⁾ _к , кА	i _{уд} , кА
K ₁	10	1,9	1,38	3,7
K ₂	0,4	1,2	11,87	4,2
K ₃	0,4	1,2	4,1	6,9
K ₄	0,4	1,2	4,1	6,95

4 Определение параметров питающих и внутренних сетей

Выбор сечения кабелей в сетях напряжением до 1000 В выполняется путем сравнения расчетного тока в линии с длительно допустимым током выбранных марок кабелей. Так же при выборе кабелей необходимо учитывать условия их прокладки и температуру окружающей среды.

Условие выбора:

$$I_p \leq I_{\text{доп}},$$

где I_p – расчетный ток в линии, А; $I_{\text{доп}}$ – допустимый длительный ток для кабеля выбранного сечения, А.

$$\begin{aligned} I_{\text{доп}} &= I_{\text{доп}}^{\text{табл}} \cdot 0,92 \\ I_{\text{доп}} &= 355 \cdot 0,92 = 326 \text{ А}, \\ 318 &\leq 326 \end{aligned}$$

где $I_{\text{доп}}^{\text{табл}}$ - допустимый табличный ток для трехжильных кабелей, А; 0,92 – коэффициент, учитывающий ток для четырехжильных кабелей, о.е.

Исходя из условий выбираем кабель ААШВ 4х240(ОЖ)-1, прокладка кабеля от трансформаторной подстанции осуществляется в земле.

После выбора сечения кабелей необходимо выполнить проверку по допустимой потере напряжения. Это выполняется с целью обеспечения нормального уровня напряжения на зажимах электроприемников в пределах допустимых отклонений.

Потери напряжения в сети определяются по формуле, %,

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

Так как в здании школы на данный момент используются все помещения, но в дальнейшем возможно увеличение нагрузки, в связи появлением новых электроприемников, выбираем силовой кабель большего сечения, чем необходимо на данный момент. Выбранные кабели сведены в таблицу 5.

Способ прокладки:

Магистральные линии от ВРУ к распределительным щиткам выполняются в виниловых и гофрированных трубах;

Групповые осветительные выполняются;

- ВВГп по кирпичному основанию под штукатурку, в каналах плит перекрытия;
- Кабелем ВВГнг по металлическим конструкциям крепления негорючего подвесного потолка;
- Кабелем ВВГнг в виниловых трубах чердака.

Таблица 5-Выбор питающих сетей

Наименование группы	Расчетный ток, А	Расчетная мощность, кВт	Марка кабеля	Потери напряжения, %	Питаемые потребители
Рабочее освещение	92,4	59,19	ПВ3-4(1x35)+(1x16)	0,3	ЩО-1,ЩО-3,ЩО-5,ЩО-7,ЩО-9
Рабочее освещение	45,9	45,9	ПВ3-4(1x35)+(1x16)	0,96	ЩО-2, ЩО-4, ЩО-6, ЩО-8, ЩО-10
Силовое оборудование	41,5	26,6	ПВ3-5(1x16)	0,27	ШС-3, ШС-4, ШС-6, ШС-7
Силовое оборудование	6,61	4,24	ПВ3-5(1x10)	0,21	ШС-5, ШС-8
Приемники первой категории	11,5	6,57	ПВ3-5(1x6)	0,2	ШС-9
Силовое оборудование	88,65	56,8	ПВ3-4(1x35)+(1x16)	0,43	ЩС-1
Вентиляция	14,5	9,3	ПВ3-5(1x4)	0,2	ЩС-В
Силовое оборудование	53,3	34,16	ПВ3-4(1x25)+(1x16)	0,54	ЩС-2

5 Технология монтажа электроосветительных установок

В осветительных сетях в зависимости от характеристики окружающей среды применяются различные виды проводок и используются разные способы прокладки проводов и кабелей. При этом руководствуются требованиями ПУЭ.

Монтаж осветительных сетей заключается в осуществлении следующих операций:

а) разметка, в которой размечаются места установки светильников, установочных аппаратов, групповых осветительных пунктов, трасс прокладки проводов, а так же места пробивки проёмов, отверстий и борозд;

б) заготовка, заключающаяся в устройстве сквозных и гнездовых отверстий, борозд и ниш, установке крепежных деталей, опорных конструкций и изолирующих опор, прокладке труб и трубок для проводки;

в) прокладка проводов и кабелей по готовой заготовке;

г) монтаж светильников, установочных аппаратов и групповых осветительных пунктов по готовой заготовке.

Разметочные работы

Для общего равномерного освещения светильники обычно располагают так, рисунок 3.

Варианты расположения на плане:

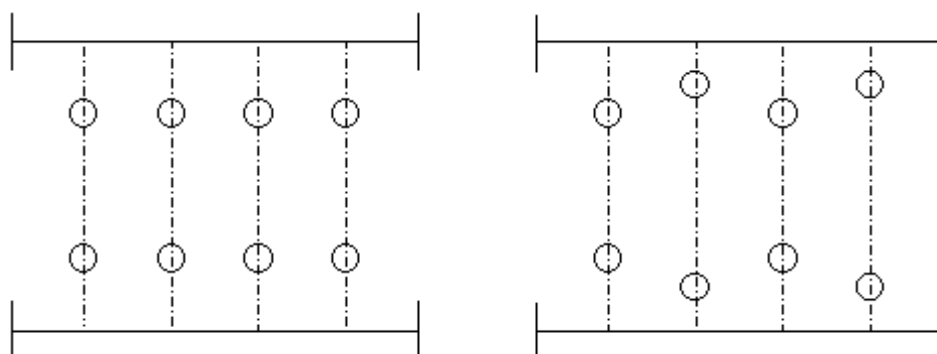


Рисунок 3 – Варианты расположения светильников

Расстояние между осевыми линиями светильников вдвое больше расстояния от тех же осей до плоскостей стен. Принятие такого решения станет очевидным, если учесть, что площади между светильниками освещаются с двух сторон, а площадь между светильниками и стенами только с одной.

Данные определяющие расположение светильников по высоте, приведем на рисунке 4.

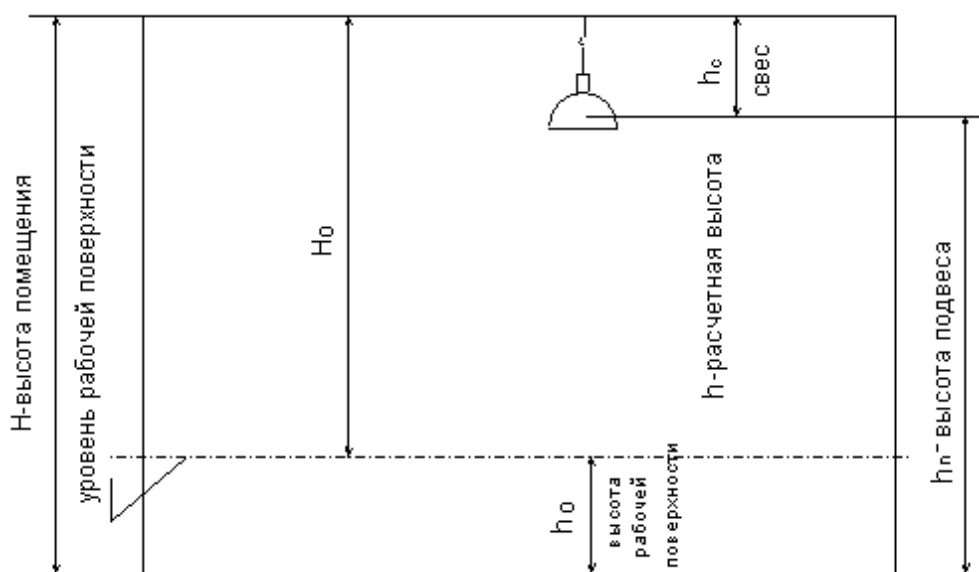


Рисунок 4 – Определение расположения светильника по высоте

Места установки светильников определяются по рабочим чертежам. Разметку на фермах или балках цеха выполняют путем натягивания вдоль помещения шнура или стальной проволоки таким образом, чтобы они проходили точно по центру данного ряда светильников. Ориентируясь на разметочный шнур или проволоку, мелом, чертилкой или цветным карандашом размечают места установки светильников. Возможен и другой способ разметки, например, места расположения светильников находят отмериванием от плоскости стен.

6 Молниезащита здания

Все объекты по требованиям к устройству системы молниезащиты можно разделить на две группы:

- Обычные объекты, к которым относятся жилые и административные здания, а также торговые, производственные и сельскохозяйственные здания и сооружения с высотой не более чем 60 м.
- Специальные объекты которые представляют опасность для непосредственного окружения:
 - объекты, которые при поражении молнией могут вызвать вредные биологические, химические и радиоактивные выбросы;
 - прочие объекты, для которых может предусматриваться специальная молниезащита, например, строения высотой более 60 м, игровые площадки, временные сооружения, строящиеся объекты.

Рассматриваемой муниципальное образовательное учреждение относится к обычным объектам 1 класса. Молниеприемник выполнен в виде металлической сетки, которая укладывается на кровле здания из стальной проволоки, круглого сечения $d=8\text{мм}$ с шагом ячейки $6\times 6\text{ м}$.

Токоотводы от молниеприемной сетки к заземлителям прокладываются на расстоянии 25 м, по периметру здания. Токоотводы прокладываются по наружной стене здания, располагаются не ближе чем в 3 метрах от входов в мест, не допустимых для прикосновения людей. В качестве токоотводов используется сталь прутки круглого сечения и диаметром $d=10\text{мм}$.

В качестве заземлителей защиты от прямых ударов молнии используется искусственный контур заземления, выполненный стальными уголками размером $50\times 50\times 5$, которые соединены между собой стальными полосками размером 40×4 . Заземлитель проложен по периметру здания на расстоянии 1м от фундамента здания. Расположение молниезащиты на крыше здания показано на рисунке 5.

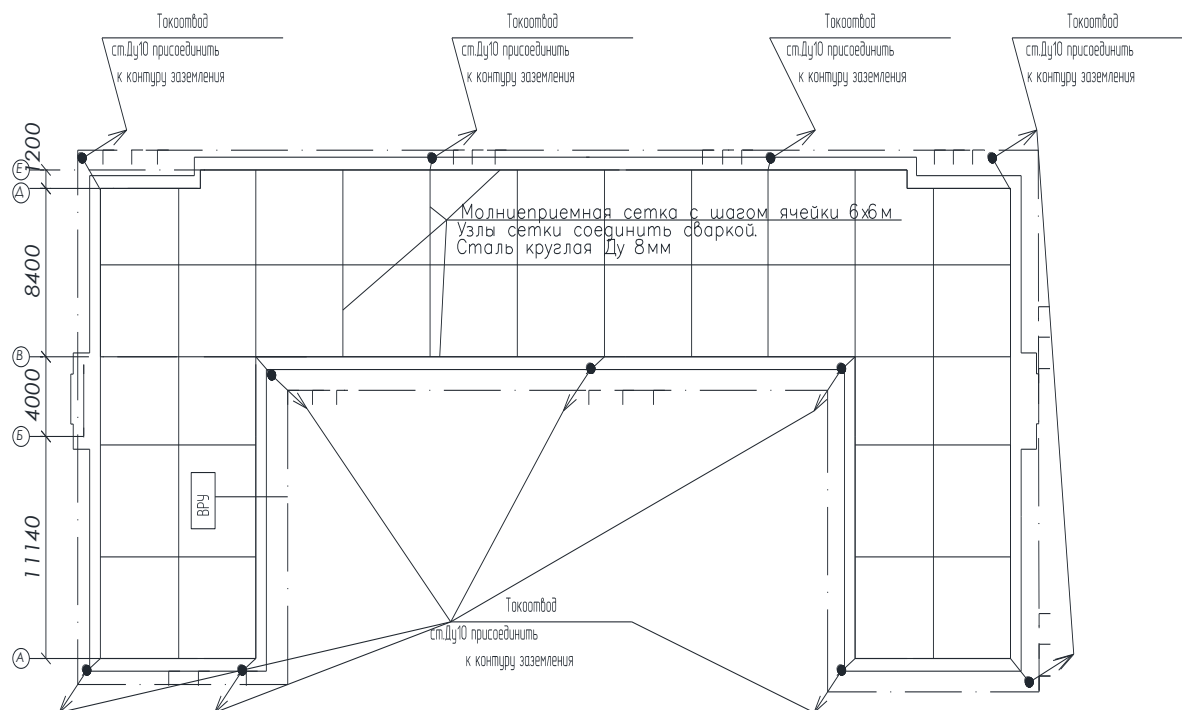


Рисунок 5 – Расположение молниезащиты на крыше здания

7 Расчет теплотребления учреждения

Для определения теплотребления муниципального образовательного учреждения расположенного в Самарской области необходимо использовать справочную литературу.

Так же необходимо определить строительный объем здания. Пользуясь строительными чертежами определим наружный объем муниципального образовательного учреждения (рисунок 6).

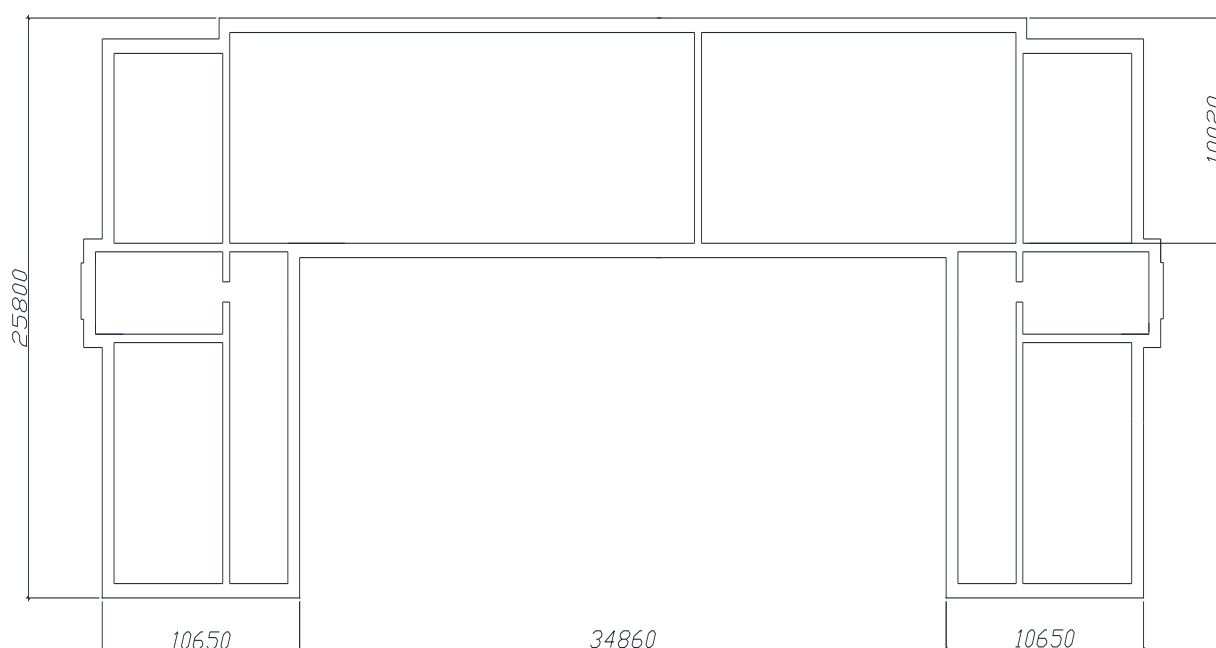


Рисунок 6 – Габаритные размеры здания

Учитывая, что рассматриваемое муниципальное образовательное учреждение имеет цокольный этаж и четыре этажа над землей, то наружный объем здания равен:

$$V_H = 12943,3 \text{ м}^3$$

7.1 Расход тепла на отопление

Расход тепла на отопление муниципального образовательного учреждения с известным наружным строительным объемом Q_{OT} , кВт, расположенного в Самарской области, может быть найден по приближенной формуле:

$$Q_{OT} = q_0 V_H (t_{BH} - t'_H) = 7,2 \cdot 10^{-4} \cdot 12943,3(16 + 27) = 400,7 \text{ кВт}$$

где q_0 – удельная отопительная характеристика здания, кВт/(м³·К); t_{BH} – внутренняя расчетная температура внутри помещения, для рассматриваемого муниципального образовательного учреждения по известному строительному объему равна 16 °С; t'_H – расчетная температура наружного воздуха для Самарской области принимается -27 °С.

Удельную отопительную характеристику здания q_0 , кВт/(м³·К), численно равную потерям тепла на 1 м³ здания в единицу времени при разности внутренней и наружной температур в 1 °С, с достаточной степенью точности можно подсчитать по эмпирической формуле ВТИ:

$$q_0 = \frac{a \cdot 10^{-3}}{\sqrt[8]{V_H}} \left[1,54 - \frac{22}{t_{BH} - t'_H} \right],$$
$$q_0 = \frac{2,4 \cdot 10^{-3}}{\sqrt[8]{20263,8}} \left[1,54 - \frac{22}{16 + 27} \right] = 7,2 \cdot 10^{-4}$$

где a – постоянный коэффициент, принимаемый для железобетонных зданий – от 2,3 до 2,6.

Тепловыделениями оборудования и людей, а также поступлением тепла в цех от солнечной радиации при расчете расхода тепла на отопление можно пренебречь.

7.2 Расход тепла на вентиляцию

Расход тепла на подогрев в зимнее время воздуха, поступающего для вентиляции, Q_B , кВт, можно принять:

$$Q_B = (0,3 \div 0,4) \cdot Q_{OT} = 0,35 \cdot 400,7 = 140,25 \text{ кВт}$$

3. Расход тепла на горячее водоснабжение

Расход тепла на горячее водоснабжение муниципального образовательного учреждения $Q_{ГВ}$, кВт, можно принять:

$$Q_{ГВ} = 0,1 \cdot Q_{OT} = 0,1 \cdot 400,7 = 40,7 \text{ кВт}$$

Максимальный расход тепла на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение муниципального образовательного учреждения:

$$Q_{сст} = Q_{OT} + Q_B + Q_{ГВ} = 400,7 + 140,25 + 40,7 = 581,65 \text{ кВт}$$

Определим площадь радиаторов отопления, которое необходимо установить в образовательном учреждении:

$$N = \frac{Q_{OT}}{q_{рад}} = \frac{400,7}{0,16} = 2504,37$$

где $q_{рад}$ - тепловой поток от одной секции чугунного радиатора.

Полученное значение округляем до большего целого значения и получаем, что количество секций чугунных радиаторов которое необходимо установить в муниципальном образовательном учреждении составляет:

$$N \approx 2504 \text{ шт}$$

Теплоснабжение муниципального образовательного учреждения осуществляется от теплового узла расположенного на цокольном этаже здания. В тепловом пункте установлен пластинчатый теплообменник, схема присоединения теплообменника одноступенчатая:

$$\frac{Q_{ГВ}}{Q_{от}} = \frac{\quad}{400,7} = 0,25$$

т.к. полученное значение укладывается в диапазон $0,2 \geq \frac{Q_{ГВ}}{Q_{от}} \geq 1$, то выбираем

двухступенчатую смешанную схему подключения теплообменника.

При смешанной схеме представленной на рисунке 13 холодная вода поступает сначала в водонагреватель первой ступени, подключенный последовательно после системы отопления. Затем догрев воды производится в водонагревателе второй ступени, подключенном параллельно.

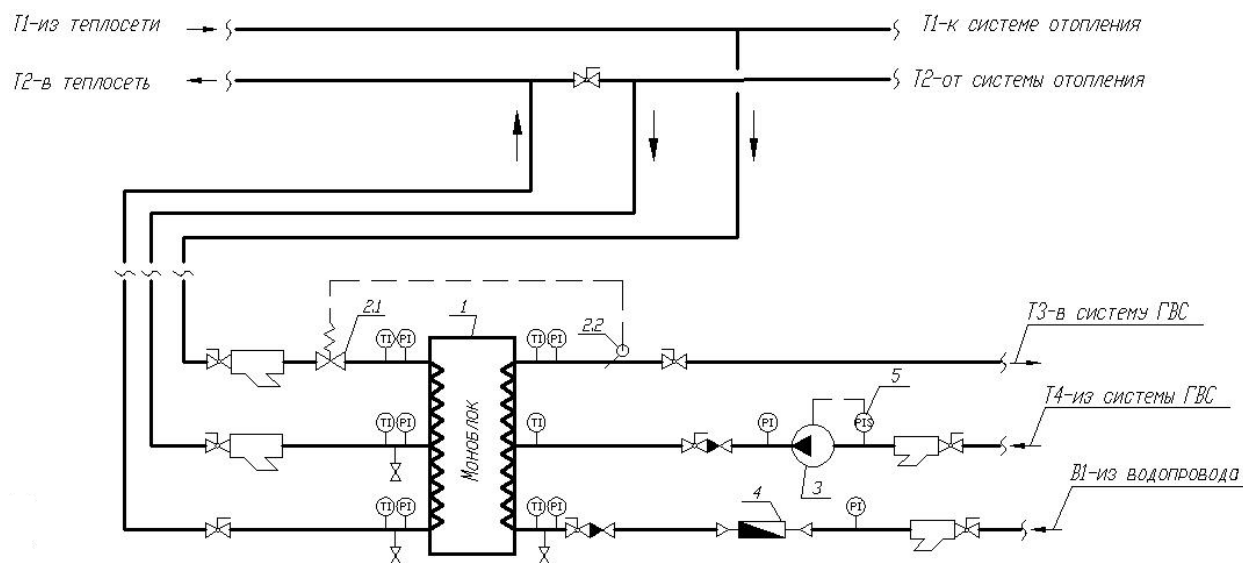


Рисунок 7 – Двухступенчатая смешанная схема подключения теплообменника

1 – пластинчатый теплообменник; 2 – регулятор температуры прямого действия; 2.1 – клапан; 2.2 – термостатический элемент; 3 – циркуляционный насос ГВС; 4 – счетчик горячей воды; 5 – электроконтактный манометр (защита от «сухого хода»).

Выбранная схема является экономичной, так как в ней используется тепло обратной воды после системы отопления в теплообменнике первой ступени.

Заключение

В выпускной квалификационной работе выполнено проектирование электрооборудования и электрохозяйства муниципального образовательного учреждения. Выполнен расчет нагрузок по образовательному учреждению. Так как большую часть электрической нагрузки здания составляет осветительные установки, был проведен подробный расчет в программе DiaLux требуемого количество осветительных установок для каждого помещения.

В для обеспечения питания образовательного учреждения была выбрана отдельно стоящая трансформаторная подстанция с установленными на ней двумя масляными трансформаторами марки ТМ-160/10/0,4 кВ.

Для выбора проводников и защитных аппаратов был произведен расчет токов короткого замыкания.

Проведен выбор кабелей и проводов внутри учреждения, а так же был рассмотрен вопрос монтажа и прокладки кабелей и проводов внутри помещения.

Выполнен расчет мощности теплотребления муниципального образовательного учреждения и количество радиаторов отопления необходимое для поддержания в помещениях учреждения комфортной температуры.

Список использованных источников

1. Правила устройства электроустановок. 7-е изд. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2004
2. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2004.
3. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2003
4. Рекомендации по технологическому проектированию подстанций переменного тока с высшим напряжением 35-750 кВ. - М.: Энергия, 2012. - 108 с.
5. Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования: РД 153-34.0-20.527-98/ под ред. Б.Н. Неклепаева. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2006.
6. Федеральный закон "Об электроэнергетике" от 26.03.2003 № 35-ФЗ с изм. и допол. в ред. от 29.12.2014
7. Шеховцов, В.П. Справочное пособие по электрооборудованию и электроснабжению [Текст] / В.П. Шеховцов. - М.: Инфра-М, 2014. - 136 с.
8. Конюхова, Е.А. Электроснабжение [Текст]: учебник. / Е.А. Конюхова. - М.: МЭИ, 2014. - 512 с.
9. Неклепаев, Б. Н. Электрическая часть электростанций и подстанций [Текст]: справочные материалы для курсового и дипломного проектирования. / Б.Н. Неклепаев. - СПб.: БХВ-Петербург, 2013. - 608 с.
10. Шабад, В.К. Электромеханические переходные процессы в электроэнергетических системах [Текст]: учебное пособие. / В.К. Шабад. - М.: Academia, 2013. - 192 с.
11. Киреева, Э.А. Релейная защита и автоматика электроэнергетических систем [Текст]: учебник. / Э.А. Киреева, С.А. Цырук. - М.: Academia, 2014. - 288 с.

12. Рожкова, Л.Д. Электрооборудование электрических станций и подстанций [Текст] / Л.Д. Рожкова, Т.В. Карнеева, Т.В. Чиркова. - М.: Academia, 2013. - 448 с.
13. Вахнина, В. В. Компенсация реактивной мощности в системах электроснабжения промышленных предприятий [Текст]: учеб. пособие для вузов. / В.В. Вахнина. - Тольятти: ТГУ, 2011. – 68 с.
14. Вахнина, В.В. Проектирование осветительных установок [Текст]: учеб. пособие. / В.В. Вахнина, О.В. Самолина, А.Н. Черненко. – Тольятти: ТГУ, 2008.
15. Вахнина, В.В. Электроснабжение промышленных предприятий и городов [Текст]: учеб.-метод. пособие для практических занятий и курсового проектирования / В.В. Вахнина, А.Н. Черненко.– Тольятти: ТГУ, 2007.
16. Шеховцов, В.П. Расчет и проектирование схем электроснабжения: Методическое пособие для курсового проектирования [Текст]: Учебное пособие. / В.П. Шеховцов. - М.: Форум, 2013. - 216 с.
17. Гук, Ю.Б. Проектирование электрической части станций и подстанций [Текст]. / Ю.Б. Гук, В.В. Кантан, С.С. Петрова. - М.: ЁЁ-Медиа, 2012. - 310 с.
18. Сибикин, Ю.Д. Пособие к курсовому и дипломному проектированию электроснабжения промышленных, сельскохозяйственных и городских объектов [Текст]: учебное пособие. / Ю.Д. Сибткин. - М.: Форум, 2015. - 384 с.
19. Коробов, Г.В. Электроснабжение. Курсовое проектирование [Текст]: Учебное пособие / Г.В. Коробов, В.В. Картанцев, Н.А. Черемисинова. - 2-е изд. испр. и доп. - М.: Лань, 2011. - 192 с.
20. Степкина, Ю. В. Высоковольтное оборудование станций и подстанций [Текст]: учеб. пособие. / Ю.В. Степкина, В.В. Вахнина. - Тольятти: ТГУ, 2006. - 49 с.

21. Вахнина, В. В. Требования к выпускной квалификационной работе бакалавров [Текст]: учеб.-метод. Пособие / В.В. Вахнина, Ю.В. Степкина, О.В. Самолина. - Тольятти : ТГУ, 2012. - 31 с.
22. Степкина, Ю. В. Электрооборудование станций и подстанций предприятий [Текст]: учеб. пособие / Ю.В. Степкина, В.В. Вахнина. - Тольятти: ТГУ, 2009. - 67 с.
23. Анчарова, Т.В., Рашевская, М.А., Стебунова, Е.Д. Электроснабжение и электрооборудование зданий и сооружений [Текст]: учебник. / Т.В. Анчарова, М.А. Рашевская, Е.Д. Стебунова. - М.: Форум, 2014. - 416 с.
24. Ерошенко, Г.Н., Эксплуатация электрооборудования [Текст]: учебник. / Г.Н. Ерошенко, Н.П. Кондратьева. - М.: Инфра-М, 2014. - 336 с.
25. Дайнеко, В.А. Эксплуатация электрооборудования и устройств автоматики [Текст]: учебное пособие. Гриф МО РФ. / В.А. Дайнеко, Е.П. Забелло, Е.М. Прищепова. - М.: Инфра-М, 2015. - 333 с.
26. Грунтович, Н.В. Монтаж, наладка и эксплуатация электрооборудования [Текст]: учебное пособие. / Н.В. Грунтович - М.: Инфра-М, 2015. - 271 с.
27. Варварин, В.К. Выбор и наладка электрооборудования [Текст]: справочное пособие. / В.К. Варварин. - М.: Форум, 2015. - 240 с.
28. Mcdonald, J. D. Electric Power Substations Engineering / J. D. Mcdonald [и др.]. – Майями: CRC Press Taylor & Francis Group, 2012. – 593с
29. Hewitson, Leslie G. Practical System Protection (Practical Professional Books) / L. G. Hewitson. – Newnes, 2005. – 290 с.
30. Gers, J. M. Protection of Electricity Distribution Networks, 3rd Edition (Energy Engineering) / J. M. Gers, E. D. Holmes. - The Institution of Engineering and Technology, 2011. – 368 с.

31. Lakervi, E. Electricity Distribution Network Design, 2nd Edition (Energy Engineering) / E. Lakervi, E. J. Holmes. - The Institution of Engineering and Technology, 2005. – 338 c.

32. Bayliss, C. Transmission and Distribution Electrical Engineering / C. Bayliss, B. Hardly. – Newnes, 2012. – 1180 c.