

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

Институт химии и энергетики

(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»

(наименование)

13.03.02. Электроэнергетика и электротехника

(код и наименование направления подготовки, специальности)

Электроснабжение

(направленность (профиль)/специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Проектирование системы электроснабжения детского сада

Обучающийся

С.А. Волошенко

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

В.С. Романов

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

Тольятти 2023

Аннотация

В целях подключения потребителей электроэнергии детского сада к электрической сети возникает необходимость в разработке проекта системы электроснабжения детского сада. Данная выпускная квалификационная работа (ВКР), направлена на проектирование системы электроснабжения детского сада. На данный момент тема достаточно актуальна и должна обеспечить в первую очередь безопасность в связи со спецификой назначения рассматриваемого строения, так же немаловажным является надежность и экономичность системы электроснабжения и оборудования.

Основываясь на выполненных расчетах, в рамках ВКР произведен выбор современного электрического оборудования системы электроснабжения детского сада, начиная с оборудования включающего освещение, кабельные линии и силовые трансформаторы подстанции, от которой данный детский садик подключен.

Пояснительная записка ВКР, состоит из введения, семи разделов основной части, заключения, списка используемой литературы и источников и графической части на 6 листах формата А1, выполнена на 53 листах формата А4, содержит 14 таблиц и 4 рисунка.

Abstract

In order to connect the power consumers of the kindergarten to the power grid there is a need to develop a project of power supply system of the kindergarten. This graduate qualification work (GQW), aimed at designing the power supply system for kindergarten. At the moment the theme is quite relevant and should provide safety in the first place in connection with the specific purpose of the considered structure, as important is the reliability and efficiency of power supply systems and equipment.

Based on the calculations made, within the framework of the thesis the choice of modern electrical equipment of the power supply system of the kindergarten, starting from the equipment including lighting, cable lines and power transformers of the substation, from which the kindergarten is connected.

Содержание

Введение	5
1 Общие сведения об объекте проектирования	7
2 Расчет электрических нагрузок	14
2.1 Расчет освещения для помещений детского сада.....	14
2.2 Расчет электрических нагрузок детского сада	15
3 Выбор силовых трансформаторов и устройств компенсации реактивной мощности	20
4 Расчет внешнего электроснабжения	26
5 Расчет токов короткого замыкания	37
6 Расчет и выбор электрооборудования.....	40
7 Расчет проводников	46
Заключение	50
Список используемой литературы и используемых источников	52

Введение

Детский сад — это важное место для развития детей, и эффективное электроснабжение является необходимым условием для обеспечения безопасности и комфорта в этом учреждении. В связи с этим, электроснабжение детского сада является важной задачей, требующей особого внимания и компетенции.

Данная выпускная квалификационная работа посвящена решению задач, связанных с электроснабжением детского сада. В работе рассматриваются вопросы проектирования, монтажа и эксплуатации электрических систем, а также проводится анализ и оценка существующих систем электроснабжения в детских садах.

Объектом исследования является детский садик на 120 мест. Предметом исследования является система электроснабжения детского садика на 120 мест.

Целью данной работы является создание эффективной системы электроснабжения, обеспечивающей надежность, безопасность и экономичность работы детского сада на 120 мест. В работе представлены конкретные рекомендации и решения, которые позволят решить проблемы, связанные с электроснабжением, а также повысить качество работы детского сада в целом.

Основываясь на поставленной цели необходимо выделить следующие задачи выпускной квалификационной работы:

- привести общие сведения о детском садике на 120 мест;
- выполнить расчет электрических нагрузок;
- выбрать силовые трансформаторы и устройства компенсации реактивной мощности;
- выполнить расчет внешнего электроснабжения детского садика на 120 мест;

- выполнить расчет токов короткого замыкания;
- выполнить расчет и выбор электрооборудования детского сада на 120 мест;
- выбрать проводники в детском садике.

Данная выпускная квалификационная работа представляет собой комплексный подход к решению задач, связанных с электроснабжением детского сада, и включает в себя технические, экономические и организационные аспекты. В результате реализации данного проекта ожидается повышение качества работы детского сада и обеспечение безопасности и комфорта для детей и персонала.

Результаты данной выпускной квалификационной работы могут быть полезны как для специалистов, занимающихся проектированием и обслуживанием электрических систем, так и для руководителей детских садов, которые заинтересованы в обеспечении высокого качества услуг и безопасности для детей.

Кроме того, реализация проекта новой системы электроснабжения может привести к значительным экономическим выгодам за счет снижения энергопотребления и расходов на обслуживание системы.

В заключение, данная выпускная квалификационная работа представляет собой комплексный подход к решению задач, связанных с электроснабжением детского сада, и является важным шагом в обеспечении безопасности, надежности и эффективности работы данного учреждения.

1 Общие сведения об объекте проектирования

В данной выпускной квалификационной работе рассматривается детский садик на 120 мест. План первого этажа детского сада показан на рисунке 1.

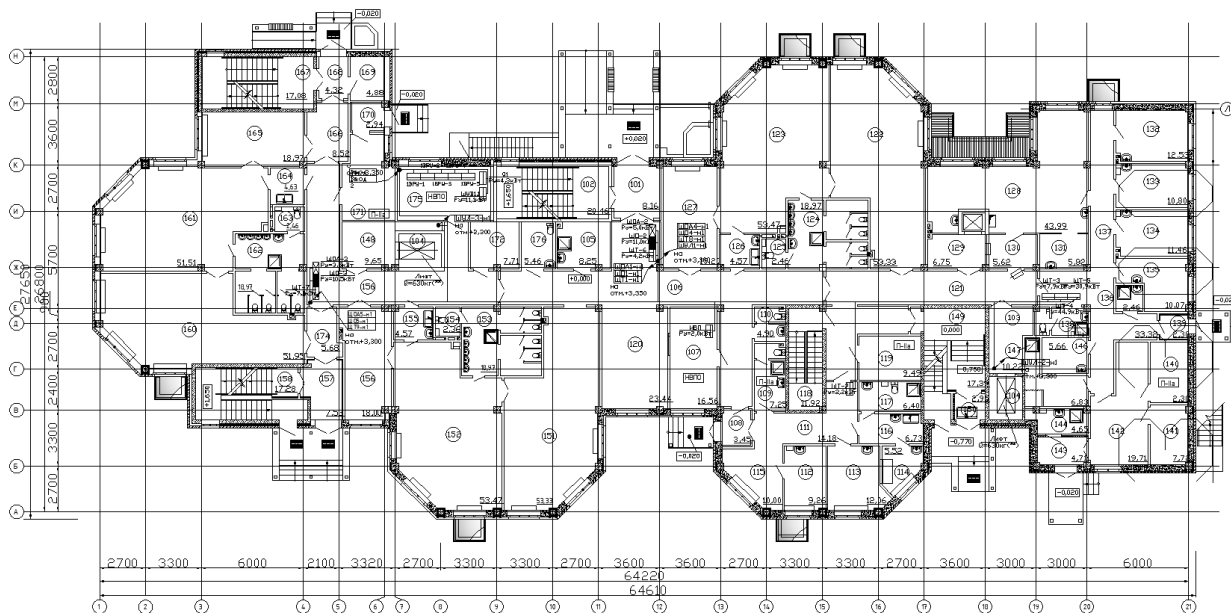


Рисунок 1 – План первого этажа детского сада

Помещения первого этажа детского сада приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Помещения первого этажа детского сада

Номер на плане	Помещение	Площадь	Категория
101	Тамбур	8,16	
102	Лестничная клетка ЛК1	20,46	
103	Лифтовый холл	8,65	
104	Лифт пассажирский Q=630кг для транспортировки маломобильных посетителей	4,97	
105	Помещение для хранения, очистки и сушки уборочного инвентаря	8,28	
106	Коридор	57,72	
107	Охрана, пожарный пост	16,56	Д
108	Тамбур	3,45	

Продолжение таблицы 1

Номер на плане	Помещение	Площадь	Категория
109	Санузел с местом для хранения, очистки и сушки инвентаря	7,25	В4
110	Санузел персонала	4,90	
	Медблок		
111	Коридор	14,18	
112	Процедурная	9,26	
113	Медицинский кабинет	12,06	
114	Палата изолятора	5,52	
115	Холл	10,00	
116	Приемная изолятора	6,73	
117	Санузел с местом приготовления дезинфицирующих растворов	6,40	
118	Лестничная клетка ЛК5	11,92	
119	Кладовая чистого белья	9,49	В3
120	Рекреация	23,44	
121	Коридор	42,96	
	Младшая дошкольная группа (дети 3–4,5 лет)		
122	Спальня	53,33	
123	Групповая	53,47	
124	Санузел	18,97	
125	Санузел для персонала	2,46	
126	Буфетная	4,57	
127	Раздевальная	19,20	
	Помещения пищеблока		
128	Горячий цех	43,99	
129	Тамбур при грузовом подъемнике	6,75	
130	Раздаточная	5,62	
131	Моечная	5,82	
132	Холодный цех	12,53	
133	Мясо-рыбный цех	10,80	
134	Овощной цех	11,46	
135	Цех первичной обработки овощей	10,07	
136	Мойка посуды для отходов	2,46	
137	Коридор	33,32	
138	Санузел с места для хранения, очистки и сушки инвентаря	5,08	В4
139	Тамбур	2,30	
140	Кладовая сухих продуктов	7,79	В3
141	Кладовая овощей	7,72	
142	Загрузочная	19,71	
143	Тамбур загрузки	4,71	
144	Помещение мойки и хранения тары	4,65	
145	Раздевальная	6,83	
146	Комната персонала	5,66	

Продолжение таблицы 1

Номер на плане	Помещение	Площадь	Категория
147	Душевая	1,62	
148	Лифтовый холл	9,65	
149	Лестничная клетка ЛК2	17,39	
150	Тамбур	2,95	
	Младшая дошкольная группа (дети 3–4,5 лет)		
151	Спальня	53,33	
152	Групповая	53,47	
153	Санузел	18,97	
154	Санузел для персонала	2,36	
155	Буфетная	4,57	
56	Раздевальная	18,00	
157	Тамбур	7,53	
158	Лестничная клетка ЛК3	17,28	
159	Коридор	39,15	
	Старшая дошкольная группа (дети 4,5–6 лет)		
160	Спальня	51,95	
161	Групповая	51,51	
162	Санузел	18,97	
163	Санузел для персонала	2,46	
164	Буфетная	4,63	
165	Раздевальная	18,97	
166	Коридор	5,82	
167	Лестничная клетка ЛК4	17,08	
168	Тамбур	4,32	
169	Техпомещение	4,88	
170	Тамбур	2,94	
171	Столярная мастерская	13,30	В3
172	Колясочная	8,12	
173	Универсальная сантехническая кабина, приспособленная для МГН	4,64	
174	Коридор	5,68	
175	Электрощитовая	17,88	В4

План второго этажа детского сада показан на рисунке 2.

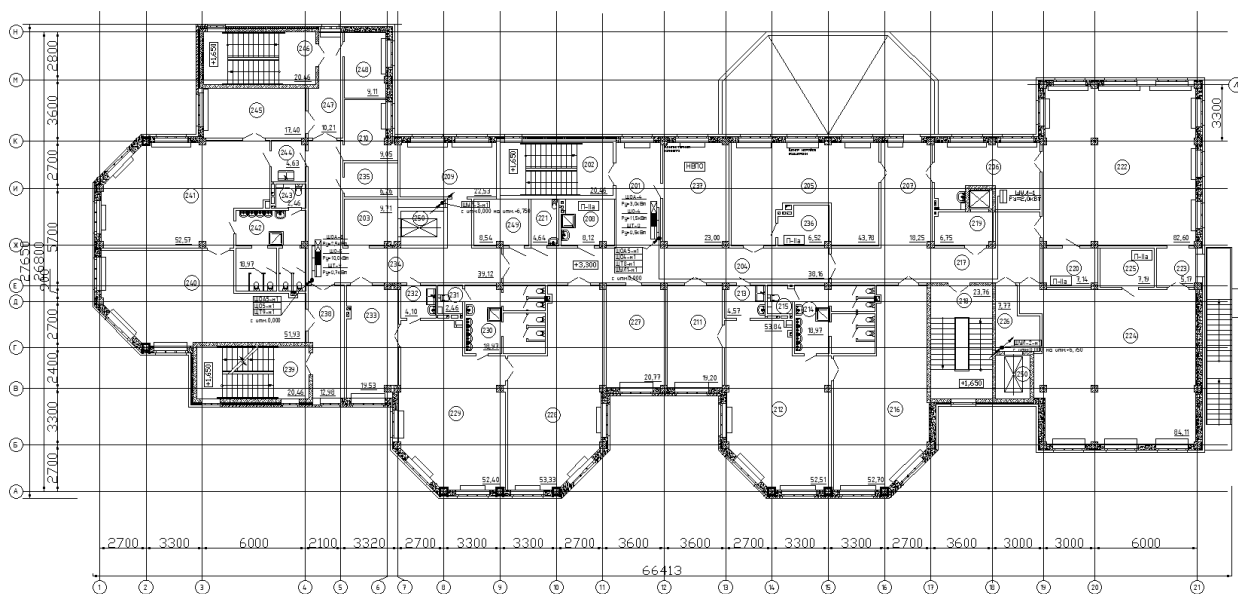


Рисунок 2 – План второго этажа детского сада

Помещения второго этажа детского сада с указанием их площади и номера на плане приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Помещения второго этажа детского сада

Номер на плане	Помещение	Площадь, м ²	Категория
201	Холл	15,91	—
202	Лестничная клетка ЛК1	20,46	—
203	Лифтовый холл	9,71	—
204	Коридор	38,16	—
205	Центр игровой поддержки	43,78	—
206	Зимний сад	21,54	—
207	Рекреация	18,25	—
208	Помещение для хранения, очистки и сушки уборочного инвентаря	8,12	В4
209	Методический кабинет	17,88	—
210	Логопедический кабинет	9,05	—
—	Старшая дошкольная группа (дети 4,5–6 лет)	—	—
211	Раздевальная	19,05	—
212	Групповая	52,51	—
213	Буфетная	4,57	—
214	Туалетная	18,97	—
215	Санузел для персонала	2,39	—
216	Спальня	52,70	—
217	Коридор	30,42	—

Продолжение таблицы 2

Номер на плане	Помещение	Площадь, м ²	Категория
218	Лестничная клетка ЛК2	23,76	–
219	Тамбур при грузовом подъемнике	6,75	–
220	Кладовая инвентаря	7,14	В4
221	Универсальная сантехническая кабина, приспособленная для МГН	4,64	–
222	Музыкальный зал	82,60	–
223	Тамбур	5,17	–
224	Физкультурный зал	84,11	–
225	Кладовая инвентаря	7,19	В4
226	Лифтовый холл	7,77	–
227	Кабинет заведующего	20,77	–
Подготовительная дошкольная группа (дети 6–7 лет)			–
228	Спальня	53,33	–
229	Групповая	52,40	–
230	Туалетная	18,97	–
231	Санузер для персонала	2,46	–
232	Буфетная	4,10	–
233	Раздевальная	19,53	–
234	Коридор	39,12	–
235	Кладовая	6,26	–
236	Кладовая инвентарная	51,95	В4
237	Компьютерная комната	51,95	Д
238	Коридор	51,95	
239	Лестничная клетка ЛК3	51,95	
Подготовительная дошкольная группа (дети 6–7 лет)			
240	Спальня	51,93	–
241	Групповая	52,57	–
242	Туалетная	18,97	–
243	Санузер для персонала	2,46	–
244	Буфетная	4,63	–
245	Раздевальная	17,40	–
246	Лестничная клетка ЛК4	20,46	–
247	Коридор	10,21	–
248	Кабинет педагога–психолога	9,11	–
249	Хозяйственная кладовая	8,54	–
250	Лифт пассажирский Q=630кг для транспортировки маломобильных посетителей	4,97	–

Характеристики потребителей детского сада приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Характеристики потребителей детского сада

Электроприемник	$P_{уст}$, кВт	$\cos\phi$
ВРУ3		
Рабочее освещение ЩО-1	6	0,92
Рабочее освещение ЩО-2	19,7	0,92
Рабочее освещение ЩО-3	17,4	0,92
Рабочее освещение ЩО-4	11,5	0,92
Рабочее освещение ЩО-5	10,5	0,92
Шкаф распределительный технологического оборудования постирочной ЦТ1	44	0,92
Шкаф распределительный технологического оборудования пищеблока ЦТ4	44,9	0,92
Оборудование ГРПШ (рабочий ввод) ШР-ГРПШ	1,5	0,98
Оборудование блочной котельной (рабочий ввод) ШР-ТБГК	16	0,85
ВРУ4	–	–
Шкаф распределительный технологического оборудования медблока ЦТ2	2,2	0,92
Шкаф распределительный технологического оборудования ЦТ3	7,9	0,92
Шкаф распределительный технологического оборудования пищеблока ЦТ5	30,9	0,92
Шкаф распределительный технологического оборудования ЦТ6	12,5	0,92
Шкаф распределительный технологического оборудования ЦТ7	15,5	0,92
Шкаф распределительный технологического оборудования ЦТ8	8,5	0,92
Шкаф распределительный технологического оборудования ЦТ9	8,7	0,92
Оборудование ГРПШ (резервный ввод) ШР-ГРПШ	1,5	0,98
Оборудование блочной котельной (рабочий ввод) ШР-ТРГК	16	0,85
Ящик наружного освещения Я1	4,3	0,92
1 категория	–	–
Шкаф управления лифта Q=250кг ШУЛ	2	0,8
Шкаф управления лифта Q=630кг ШУЛ	6	0,8
Шкаф управления лифта Q=630кг ШУЛ	6	0,8
Аварийное освещение ЩОА1	0,8	0,92
Аварийное освещение ЩОА2	8	0,92
Аварийное освещение ЩОА3	6	0,92
Аварийное освещение ЩОА4	3	0,92

Продолжение таблицы 3

Электроприемник	$P_{\text{уст}}$, кВт	$\cos\varphi$
Аварийное освещение ЩОА5	2,5	0,92
Оборудование ОПС ИБП	2	0,98
Шкаф управления вентиляцией ШУВ1.1	11,1	0,77

Выводы по разделу.

В первом разделе ВКР приведены общие сведения об объекте проектирования. Приведены планы этажей детского сада, а также характеристики и потребителей помещений детского сада.

2 Расчет электрических нагрузок

2.1 Расчет освещения для помещений детского сада

Для освещения детского сада применены следующие светильники – OWP OPTIMA LED 1200 IP54/IP54 4000K со степенью защиты IP54 для освещения всех основных помещений детского сада и SAFARI DL LED со степенью защиты IP44 для освещения технических помещений.

Технические характеристики светильников OWP OPTIMA LED 1200 IP54/IP54 4000K приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Технические характеристики светильников OWP OPTIMA LED 1200 IP54/IP54 4000K

Характеристика	Значение
Тип ИС	LED
Световой поток	3600 лм
Мощность светильника	32 Вт
Энергоэффективность	113 лм/Вт
Индекс цветопередачи (CRI)	>80
Коррелированная цветовая температура (в сфере)	4000 К
Коэффициент мощности (cos φ)	> 0,95
Переменный/постоянный ток (AC/DC)	Да
Напряжение питания	230 В
Класс защиты от поражения током	I
Электромагнитная совместимость (ТР ТС 020/2011)	Да
Климатическое исполнение	УХЛ2
Температурный режим	от -20 до +40 С
Цвет корпуса	Белый
Коэффициент пульсации	<5%
Степень защиты (IP)	IP54
Ударопрочность	IK02/0,2 Дж
Класс энергоэффективности	A+
Блок аварийного питания	Нет
Угол обзора	D120

Технические характеристики светильников SAFARI DL LED 26 HFD 3000K приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Технические характеристики светильников SAFARI DL LED 26 HFD 3000K

Характеристика	Значение
Тип ИС	LED
Световой поток	3600 лм
Мощность светильника	32 Вт
Энергоэффективность	113 лм/Вт
Индекс цветопередачи (CRI)	>80
Коррелированная цветовая температура (в сфере)	4000 К
Коэффициент мощности (cos φ)	> 0,95
Переменный/постоянный ток (AC/DC)	Да
Напряжение питания	230 В
Класс защиты от поражения током	I
Электромагнитная совместимость (TR TC 020/2011)	Да
Климатическое исполнение	УХЛ2
Температурный режим	от -20 до +40 С
Цвет корпуса	Белый
Коэффициент пульсации	<5%
Степень защиты (IP)	IP54
Ударопрочность	IK02/0,2 Дж
Класс энергоэффективности	A+
Блок аварийного питания	Нет
Угол обзора	D120

Расчет нагрузки системы освещения выполнен вместе с расчетом электрических нагрузок.

2.2 Расчет электрических нагрузок детского сада

Для расчета электрических нагрузок детского сада необходимо рассчитать расчетную нагрузку на сборных шинах вводного ВРУ1.

Расчетная активная нагрузка каждого потребителя входит в суммарную нагрузку детского сада с учетом коэффициента спроса. Данная расчетная активная мощность определяется по формуле (2.1) [1]:

$$P_{\text{расч}} = P_{\text{ном}} \cdot k_c, \quad (1)$$

где k_c – коэффициент спроса;

$P_{\text{ном}}$ – номинальная мощность потребителей, кВт.

Так для шкафа распределительного технологического оборудования постирочной ЩТ1 коэффициент спроса составляет $k_c = 0,59$, тогда

$$P_{\text{расч}} = 44 \cdot 0,59 = 26,0 \text{ МВт.}$$

Расчетная реактивная мощность потребителей детского сада определяется по формуле [1]

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

где $P_{\text{расч}}$ – расчетная мощность потребителя, кВт;

$\operatorname{tg}\varphi$ – коэффициент мощности, определяется исходя из известного значения $\cos\varphi$, так для шкафа распределительного технологического оборудования постирочной ЩТ1 $\cos\varphi = 0,92$, тогда

$$\operatorname{tg}\varphi = 0,426.$$

Тогда для шкафа распределительного технологического оборудования постирочной ЩТ1:

$$Q_{\text{расч}} = 26,0 \cdot 0,426 = 11,1 \text{ квар.}$$

Полная мощность потребителей электроэнергии детского сада определяется по формуле [1]:

$$S_{\text{расч}} = \sqrt{P_{\text{расч}}^2 + Q_{\text{расч}}^2}, \quad (3)$$

где $P_{\text{расч}}$ – расчетная активная мощность потребителя, МВт;

$Q_{\text{расч}}$ – расчетная реактивная мощность потребителя, МВАр;

Для шкафа распределительного технологического оборудования постирочной ЩТ1 детского сада:

$$S_{\text{расч}} = \sqrt{26,0^2 + 11,1^2} = 28,3 \text{ МВА.}$$

Рабочий ток потребителей электроэнергии детского сада определяется по формуле:

$$I_{\text{расч}} = \frac{S_{\text{расч}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}}} \quad (4)$$

Для шкафа распределительного технологического оборудования постирочной ЩТ1 детского сада:

$$I_{\text{расч}} = \frac{28,3}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 42,9 \text{ А}$$

Аналогично определяются нагрузки остальных потребителей электроэнергии детского сада, результаты расчета нагрузок детского сада сведены в таблице 6.

Таблица 6 – Результаты расчета нагрузок детского сада

Электроприемник	$P_{\text{уст}}$, кВт	k_c	P_p , кВт	$\cos\varphi$	$\text{tg}\varphi$	Q_p , квар	S_p , кВА	I_p , А
ВРУЗ								
Рабочее освещение ЩО-1	6	0,70	4,2	0,92	0,426	1,8	4,6	6,9
Рабочее освещение ЩО-2	19,7	0,7	13,8	0,92	0,426	5,9	15,0	22,8
Рабочее освещение ЩО-3	17,4	0,70	12,2	0,92	0,426	5,2	13,3	20,1
Рабочее освещение ЩО-4	11,5	0,64	7,4	0,92	0,426	3,2	8,0	12,2
Рабочее освещение ЩО-5	10,5	0,59	6,2	0,92	0,426	2,6	6,7	10,2
Шкаф распределительный технологического	44	0,59	26	0,92	0,426	11,1	28,3	42,9

Продолжение таблицы 6

Электроприемник	$P_{уст},$ кВт	k_c	$P_p,$ кВт	$\cos\varphi$	$tg\varphi$	$Q_p,$ квар	$S_p,$ кВА	I_p, A
оборудования постирочной ЩТ1								
Шкаф распределительный технологического оборудования пищеблока ЩТ4	44,9	0,59	26,5	0,92	0,426	11,3	28,8	43,8
Оборудование ГРПШ (рабочий ввод) ШР–ГРПШ	1,5	1	1,5	0,98	0,203	0,3	1,5	6,8
Оборудование блочной котельной (рабочий ввод) ШР–ТБГК	16	0,75	12	0,85	0,620	7,4	14,1	21,4
ВРУ4								
Шкаф распределительный технологического оборудования медблока ЩТ2	2,2	0,59	1,3	0,92	0,426	0,6	1,4	2,1
Шкаф распределительный технологического оборудования ЩТ3	7,9	0,59	4,7	0,92	0,426	2,0	5,1	7,8
Шкаф распределительный технологического оборудования пищеблока ЩТ5	30,9	0,59	18,2	0,92	0,426	7,8	19,8	30,1
Шкаф распределительный технологического оборудования ЩТ6	12,5	0,6	7,5	0,92	0,426	3,2	8,2	12,4
Шкаф распределительный технологического оборудования ЩТ7	15,5	0,6	9,3	0,92	0,426	4,0	10,1	15,4
Шкаф распределительный технологического оборудования ЩТ8	8,5	0,59	5	0,92	0,426	2,1	5,4	8,3
Шкаф распределительный технологического оборудования ЩТ9	8,7	0,59	5,1	0,92	0,426	2,2	5,5	8,4
Оборудование ГРПШ (резервный ввод) ШР–ГРПШ	1,5	1	1,5	0,98	0,203	0,3	1,5	6,8
Оборудование блочной котельной (рабочий ввод) ШР–ТРГК	16	0,75	12	0,85	0,620	7,4	14,1	21,4
Ящик наружного освещения Я1	4,3	1	4,3	0,92	0,426	1,8	4,7	7,1
1 категория								
Шкаф управления лифта Q=250кг ШУЛ	2	1	2	0,8	0,750	1,5	2,5	3,8

Продолжение таблицы 6

Электроприемник	$P_{уст},$ кВт	k_c	$P_p,$ кВт	$\cos\varphi$	$\operatorname{tg}\varphi$	$Q_p,$ квар	$S_p,$ кВА	$I_p,$ А
Шкаф управления лифта Q=630кг ШУЛ	6	1	6	0,8	0,750	4,5	7,5	11,4
Шкаф управления лифта Q=630кг ШУЛ	6	1	6	0,8	0,750	4,5	7,5	11,4
Аварийное освещение ЩОА1	0,8	1	0,8	0,92	0,426	0,3	0,9	1,3
Аварийное освещение ЩОА2	8	1	8	0,92	0,426	3,4	8,7	13,2
Аварийное освещение ЩОА3	6	1	6	0,92	0,426	2,6	6,5	9,9
Аварийное освещение ЩОА4	3	1	3	0,92	0,426	1,3	3,3	5
Аварийное освещение ЩОА5	2,5	1	2,5	0,92	0,426	1,1	2,7	4,1
Оборудование ОПС ИБП	2	1	2	0,98	0,203	0,4	2,0	9
Шкаф управления вентиляцией ШУВ1.1	11,1	0,96	10,7	0,77	0,829	8,9	13,9	21,1
Итого по детскому саду	326,9		225,7	0,90	0,481	108,5	251,7	382,9

Выводы по разделу.

Во втором разделе ВКР разработана система освещения и рассчитаны электрические нагрузки детского сада. Для освещения детского сада приняты светильники OWP OPTIMA LED 1200 IP54/IP54 4000K и SAFARI DL LED 26 HFD 3000K.

3 Выбор силовых трансформаторов и устройств компенсации реактивной мощности

«Наличие в электрической сети реактивной мощности ухудшает КЭ, ведет к таким явлениям как повышение платы за электрическую энергию, дополнительным потерям и перегреву проводов, перегрузке ТП, необходимости завышения мощности силовых трансформаторов и сечений проводников. Для уменьшения реактивной мощности применяются устройства компенсации реактивной мощности. Использование данных устройств дает возможность сократить объем потребляемой реактивной мощности, добиться сбережения электроэнергии и экономического эффекта. КРМ предусматривается на стороне НН ТП» [1].

«Установка компенсирующих устройств дает возможность увеличить напряжение на СШ до номинальных значений, которые предписываются НТД. Это дает возможность отказаться от устройств регулирования напряжения потребителями» [1].

Для выбора КУ требуется:

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

«Мощность КУ выбирают с учетом требований энергосистемы, которая устанавливает рекомендуемый коэффициент мощности на СШ высокого напряжения ГПП предприятия ($tg\varphi_{рек.}$). Также необходимо руководствоваться внутренними документами предприятий. Для рассматриваемого производства $tg\varphi_{рек} = 0,4$ » [1].

Минимальная мощность КУ находится как:

$$Q_{уку} = P_p \cdot (tg\varphi_m - tg\varphi_{э}); \quad (5)$$

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

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

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

«Согласно Приказа Минэнерго РФ от 23 июня 2015 г. N 380 максимальное значение коэффициента реактивной мощности, потребляемой в часы больших суточных нагрузок электрической сети при напряжении сети 10 кВ составляет $\text{tg} \varphi_p = 0,4$ » [8].

«Так как при расчете электрических нагрузок по ТП расчетный коэффициент мощности получился больше нормы, то необходима искусственная компенсация реактивной мощности. Конденсаторные установки следует устанавливать на шинах 0,4 кВ ТП» [8].

Расчетная мощность компенсирующего устройства равна:

$$Q_{\text{укв1}} = 225,7 \cdot (0,481 - 0,4) = 18,3 \text{ квар.}$$

«Выбираются две установки компенсации реактивной мощности УКМ 58–04–50–25 У3, производства компании ЗАО «Электроинтер» [19], по одной установке на каждую секцию шин. Мощность компенсирующих устройств необходимо устанавливать на 25 квар каждую. Типы компенсирующих устройств сведены в таблицу 7» [24].

Таблица 7 – Типы компенсирующих устройств

Место установки	Тип компенсирующего устройства	Мощность, кВАр	Степень регулирования мощности, кВАр
I СШ	УКМ 58–04–50–25 У3	25	25
II СШ	УКМ 58–04–50–25 У3	25	25

«Рассчитываются фактические значения коэффициентов мощности после КРМ» [2]:

$$\operatorname{tg}\varphi_{\phi} = \operatorname{tg}\varphi - \frac{Q_{\text{к.ст.}}}{P_{\text{м}}}; \quad (6)$$

$$\operatorname{tg}\varphi_{\phi} = 0,481 - \frac{25 + 25}{225,7} = 0,26;$$

что соответствует $\cos\varphi_{\phi} = 0,968$.

«Тогда мощность на НН с КУ равна» [31]:

$$S_{\text{p(с КУ)}} = \sqrt{225,2^2 + (108,5 - 50)^2} = 233,2 \text{ кВА.}$$

«Потери в силовом трансформаторе составят» [31]:

$$\Delta P_{\text{T}} = 0,02 \cdot 233,2 = 4,7 \text{ кВт};$$

$$\Delta Q_{\text{T}} = 0,1 \cdot 233,2 = 23,3 \text{ квар};$$

$$S_{\text{p(ВН с КУ)}} = \sqrt{(225,2 + 4,7)^2 + (58,5 + 23,3)^2} = 244,5 \text{ кВА.}$$

«Конденсаторные установки устанавливаются на сборных шинах 0,4 кВ трансформаторной подстанции» [8].

Выбор силовых трансформаторов ТП.

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

«Определяя количество трансформаторов в ТП, требуется учесть условие, которое предъявляется к электроснабжению потребителей электроэнергии I и II категории по надежности, которое определяет, что для электроснабжения производства необходимо использовать 2 независимых ИП, то есть требуется использовать двухтрансформаторную ТП» [30].

Расчетная мощность трансформатора:

$$S_{\text{T}} \geq 0,7 S_{\text{p(ВНсКУ)}}; \quad (7)$$

$$S_T \geq 0,7 \cdot 233,2 = 163,2 \text{ кВА.}$$

«По [15] выбирается 2КТП–250–10/0,4 с трансформаторами ТМГ–250–10/0,4 (рисунок 3)» [23]. Технические характеристики силовых трансформаторов ТМГ–250–10/0,4 приведены в таблице 8.

Таблица 8 – Характеристики силовых трансформаторов ТМГ–250–10/0,4

Характеристика	Значение
Номинальная мощность	250 кВА
Напряжение ВН	10 кВ
Напряжение НН	0,4 кВ
Потери КЗ	3100 Вт
Потери ХХ	550 Вт
Напряжение КЗ	4,5 %
Ток ХХ	2,3 %
Масса	1300 кг
Габаритные размеры	1420 мм x 990 мм x 1740 мм

Силовой трансформатор ТМГ–250–10/0,4 показан на рисунке 3.



Рисунок 3 – Силовой трансформатор ТМГ–250–10/0,4

«Действительный коэффициент загрузки в нормальном режиме» [11]:

$$K_3 = \frac{S_{p(ВН)}}{n \cdot S_{ТН}}; \quad (8)$$
$$K_3 = \frac{233,2}{2 \cdot 250} = 0,466.$$

«Действительный коэффициент загрузки в послеаварийном режиме определяется по формуле» [11]:

$$K_{3.АВ} = \frac{S_{p(ВН)}}{(n - 1) \cdot S_{ТН}} \quad (9)$$

$$K_{3.АВ} = \frac{233,2}{(2 - 1) \cdot 250} = 0,933,$$

«что меньше максимально допустимого коэффициента загрузки масляного силового трансформатора $K_{3.доп} = 1,4$ » [19]

$$K_{3.АВ} = 0,933 < K_{3.доп} = 1,4,$$

а значит, данные трансформаторы можно применять.

«Силовые трансформаторы устанавливаются в 2КТП–250–10/0,4, которая включает в себя шкаф ввода ВН, силового трансформатора и РУ НН» [11].

«Так как подстанция производства с двумя трансформаторами, то на ней устанавливается секционный шкаф. Между секциями предусматривается защитная аппаратура» [11].

«Коммутационная аппаратура должна быть способна коммутировать соответствующие цепи в аварийном режиме, в т.ч. и при коротком замыкании» [23], [24]. «Во включенном положении коммутационная аппаратура должна быть способна пропускать сквозной ТКЗ» [11].

Вывод по разделу.

В третьем разделе ВКР согласно произведенным расчетам и предъявляемым требованиям к электроснабжению детского сада выбрана трансформаторная подстанция с учетом компенсации реактивной мощности. На основании характеристик способных обеспечить расчетные данные, к установке непосредственно в комплектной трансформаторной подстанции приняты две установки компенсации реактивной мощности УKM 58-04-50-25 УЗ, производства компании ЗАО «Электроинтер». Для электроснабжения детского сада принята 2КТП-250-10/0,4 с установкой масляных трансформаторов ТМГ-250-10/0,4. Приведены технические характеристики силовых трансформаторов ТМГ-250-10/0,4 обеспечивающие необходимые расчетные показатели.

4 Расчет внешнего электроснабжения

Выбор кабелей напряжением выше 1 кВ производится по следующим условиям [16]:

- по экономической плотности тока;
- по нагреву рабочим током;
- по термической стойкости при протекании тока КЗ;
- по допустимому отклонению напряжения.

Сечения питающих линий напряжением выше 1 кВ должны выбираться по экономической плотности тока в нормальном режиме.

Рабочий ток на стороне ВН трансформаторной подстанции в нормальном режиме определяется по формуле:

$$I_{p.норм} = \frac{0,7 \cdot S_{н.т.}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} \quad (10)$$

$$I_{p.норм} = \frac{0,7 \cdot 250}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 9,7A.$$

Рабочий ток на стороне ВН трансформаторной подстанции в максимальном режиме определяется по формуле:

$$I_{p.max} = \frac{1,4 \cdot S_{н.т.}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} \quad (11)$$

$$I_{p.max} = \frac{1,4 \cdot 250}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 19,3A.$$

Экономически целесообразное сечение определяется из соотношения [16]:

$$S_{\text{эк}} = \frac{I_{p.\text{норм}}}{j_{\text{эк}}}, \quad (12)$$

где $I_{p.\text{норм}}$ – расчетный ток в нормальном режиме, А;

$j_{\text{эк}}$ – нормированное значение экономической плотности тока, для кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена, $j_{\text{эк}} = 1,7 \text{ А/мм}^2$ [7].

$$S_{\text{эк}} = \frac{9,7}{1,7} = 5,7 \text{ мм}^2.$$

Принимаем кабель АПвП – 3х16, с длительно допустимым током $I_{\text{д.д.}} = 95 \text{ А}$.

Принятое экономически целесообразное сечение кабеля проверяется по нагреву рабочим током в послеаварийном режиме (например, после отключения одной из параллельных линий) по условию [16]:

$$I_{\text{д.д.}} \cdot K_{\text{П1}} \cdot K_{\text{П2}} \geq I_{p.\text{max}}, \quad (13)$$

где $I_{\text{д.д.}}$ – допустимый длительный ток кабеля, А;

$K_{\text{П1}}$ – поправочный температурный коэффициент, $K_{\text{П1}} = 1,0$;

$K_{\text{П2}}$ – поправочный коэффициент на число кабелей, лежащих в одной траншее, для двух кабелей при расстоянии в свету 100 мм $K_{\text{П2}} = 0,9$.

$$95 \cdot 1,0 \cdot 0,9 = 85,5 \text{ А} \geq I_{p.\text{max}} = 19,3 \text{ А} - \text{верно,}$$

а значит выбранный кабель проходит проверку по нагреву рабочим током в послеаварийном режиме.

Выбранное сечение проверяют по потере напряжения.

Ориентировочно можно считать допустимыми потери напряжения в линии напряжением 6 – 10 кВ внутри предприятия – 5 %;

Потерю напряжения в линиях напряжением до 35 кВ определяют по формуле [16]:

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot I_p \cdot l \cdot (r_{уд} \cdot \cos\varphi + x_{уд} \cdot \sin\varphi), \quad (14)$$

где I_p – расчетный ток линии, А;

l – длина питающей кабельной линии, $l = 1,0$ км;

$r_{уд}$ – активное удельное сопротивление линии, $r_{уд} = 1,95$ Ом/км;

$x_{уд}$ – индуктивное удельное сопротивление линии, $x_{уд} = 0,093$ Ом/км;

$\cos\varphi$, $\sin\varphi$ – коэффициенты мощности соответствуют $\operatorname{tg}\varphi$ в конце линии, $\cos\varphi = 0,968$, $\sin\varphi = 0,251$.

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot 9,7 \cdot 1,0 \cdot (1,95 \cdot 0,968 + 0,093 \cdot 0,251) = 32 \text{ В.}$$

Потери напряжения в процентах составляют [16]

$$\Delta U\% = \frac{\Delta U}{U_{ном}} \cdot 100\%, \quad (15)$$

$$\Delta U\% = \frac{32}{10000} \cdot 100\% = 0,32\% < 5\%.$$

Согласно исходным данным, ток КЗ на сборных шинах 10 кВ подстанции энергосистемы, от которой подключена ТП детского сада равен 12,2 кА.

Проверка выбранного кабеля на термическую стойкость [29]:

$$q_{min} = \frac{\sqrt{B_K}}{C}, \quad (16)$$

где C – коэффициент, $C = 92 \frac{A \cdot c^{0,5}}{мм^2}$ [29]

B_K – тепловой импульс,

$$B_K = I_{по}^2 \cdot (t_{откл} + T_a), \quad (17)$$

где $I_{по}$ – ток короткого замыкания на шинах 10 кВ подстанции энергосистемы, от которой подключена ТП детского сада, согласно исходным данным,

T_a – время протекания апериодической составляющей тока короткого замыкания;

$t_{откл}$ – время отключения тока КЗ, $t_{откл} = 0,8$ с;

$$B_K = 12,2^2 \cdot (0,8 + 0,05) = 126,5 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} = 126,5 \cdot 10^6 \text{ А}^2 \cdot \text{с};$$

$$q_{min} = \frac{\sqrt{126,5 \cdot 10^6}}{92} = 122,3 \text{ мм}^2.$$

Выбирается кабель АПвП–10–3х150 [26].

Далее выполняется выбор и проверка аппаратов и токоведущих частей комплектной трансформаторной подстанции.

РУ 10 кВ трансформаторной подстанции состоит из шкафов КСО–386 с выключателями нагрузки и КСО–208 с вакуумными выключателями. КРУ предназначены для приема и распределения электрической энергии трехфазного переменного тока частотой 50 Гц номинальным напряжением 10 кВ в сетях с изолированной или заземленной через дугогасящий реактор или высокоомный резистор нейтралью.

Отсек выдвижного элемента предназначен для размещения ВЭ с установленным оборудованием. «На задней стенке отсека расположены проходные изоляторы с розетками разъемных токоведущих соединений. Для обеспечения безопасности отсек оборудован шторочным механизмом,

закрывающим внутренние полости проходных изоляторов при выведении ВЭ из рабочего положения. ВЭ представляет собой тележку, состоящую из подвижной и неподвижной частей, соединенных винтовой передачей, с установленной на ней аппаратурой главной цепи» [21].

«КРУ оснащаются МБРЗ. Помимо основной функции (защитной) такие устройства имеют дополнительные функции автоматики, сервиса, могут выполнять роль устройств ввода–вывода данных в АСУ, а также устройств контроля и измерения» [21].

Параметры ячеек КРУ 10 кВ типа КСО–208 [21] представлены в таблице 9.

Таблица 9 – Параметры ячеек КРУ 10 кВ КСО–208

Наименование параметра	Значение
Номинальное напряжение	10,0 кВ
Наибольшее рабочее напряжение	12 кВ
Номинальный ток главных цепей	1000 А
Номинальный ток сборных шин	100 А
Номинальный ток отключения выключателя	20 кА
Номинальный ток термической стойкости (3с для главных цепей; 1с для заземляющих ножей)	20 кА
Номинальный ток электродинамической стойкости главных цепей	51 кА
Номинальное напряжение вспомогательных цепей	220 В
Габаритные размеры шкафа КРУ, мм	
– ширина	570
– глубина	1100
– высота	2100
Масса шкафа, кг	1400

В ячейках КРУ 10 кВ типа КСО–208 могут быть установлены выключатели следующих типов:

- ВВ/TEL, производства компании Таврида Электрик;
- EasyPact EHE производства компании Schneider Electric;
- VD4; VM1 производства компании ABB;
- SION производства компании Siemens;
- VF12 производства компании АО «ПО Элтехника».

С целью импортозамещения, а также с учетом возможных трудностей с поставками зарубежного оборудования, принимаются к установке выключатели типа ВВ/TEL–10–20/630 УЗ [11], производства «Таврида электрик»

Выбор выключателей осуществляется с учетом двенадцати разных параметров. В настоящей ВКР при выборе выключателей в СЭС цеха будут учтены только основные параметры. Таким образом, выключатели выбираются по [28]:

– по напряжению электроустановки

$$U_{уст} \leq U_{ном} \quad (18)$$

– по длительному току

$$I_{норм} \leq I_{ном} \quad (19)$$

$$I_{max} \leq I_{ном} \quad (20)$$

– по отключающей способности

$$I_{к.з.}^{(3)} \leq I_{отк.ном} \quad (21)$$

где $I_{отк.ном}$ – номинальный ток отключения, кА;

– по электродинамической стойкости

$$i_y \leq i_{дин} \quad (22)$$

где $i_{дин}$ – ток электродинамической стойкости, кА;

– по термической стойкости

$$I_{к.з.}^{(3)} \leq I_{тер}^2 I_{тер} \quad (23)$$

где $I_{\text{тер}}$ – ток термической стойкости, кА;

$t_{\text{тер}}$ – время протекания тока термической стойкости, с.

«Для установки на РУ 10 кВ применяется вакуумный выключатель ВВ/TEL–10. Расчетные и каталожные данные выключателя приведены в таблице 10» [11].

Таблица 10 – Выбор выключателя в РУ 10 кВ [28, 30]

Условия выбора	Расчетные параметры сети	Каталожные данные ВВ/TEL–10
$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{уст}}$	$U_{\text{уст}}=10$ кВ	$U_{\text{ном}}=10$ кВ
$I_{\text{ном}} \geq I_{\text{max}}$	$I_{\text{max}}=19,3$ А	$I_{\text{ном}}=630$ А
$I_{\text{ном.откл}} \geq I_{\text{кз}}$	$I_{\text{п,т}}=12,2$ кА	$I_{\text{ном.откл.}}=20$ кА
$i_{\text{дин}} \geq i_{\text{уд}}$	$i_{\text{уд}}=29,5$ кА	$i_{\text{дин}}=52$ кА
$I_{\text{тер}}^2 \cdot t_{\text{тер}} \geq B_{\text{к}}$	$B_{\text{к}} = 126,5$ кА ² ·с	$I_{\text{тер}}^2 \cdot t_{\text{тер}} = 20^2 \cdot 3 = 1200$ кА ² ·с

Параметры выключателей типа ВВ/TEL–10–20/630 У3 которых приведены в таблице 11.

Таблица 11 – Параметры выключателей типа ВВ/TEL–10–20/630 У3

Параметры	Значения
Номинальное напряжение	10 кВ
Наибольшее рабочее напряжение	12 кВ
Номинальный ток	630 кА
Номинальный ток отключения	20 кА
Сквозной ток КЗ:	
– наибольший пик	52 кА
– начальное действующее значение периодической составляющей	20 кА
Нормированное процентное содержание апериодической составляющей	40 %
Ток термической стойкости	20 кА
Время протекания тока термической стойкости	3 сек
Собственное время отключения выключателя	0,015 сек
Полное время отключения	0,025 сек
Собственное время включения	0,055 сек
Неодновременность замыкания и размыкания контактов	0,004 сек
Масса	39 кг

Выключатели нагрузки на вводе в ТП.

Выключатели нагрузки не предназначены для отключения токов КЗ, поэтому их выбирают:

– по напряжению установки [13]

$$U_{уст} \leq U_{ном}; \quad (24)$$

– по длительному току [13]

$$I_{ном} \leq I_{ном}; \quad (25)$$

где $I_{ном}$ – ток на стороне 10 кВ ТП в нормальном режиме [13];

$$I_{max} \leq I_{ном}; \quad (26)$$

где I_{max} – ток на стороне 10 кВ ТП в максимальном режиме [13];

– по электродинамической стойкости [13]

$$i_y \leq i_{дин}, \quad (27)$$

где $i_{дин}$ – ток электродинамической стойкости, кА (принимают по каталогу);

– по термической стойкости [13]

$$B_K \leq I_{тер}^2 \cdot t_{тер}, \quad (28)$$

где $I_{тер}$ – ток термической стойкости, кА;

$t_{тер}$ – время протекания тока термической стойкости, с.

Для установки на вводе в ТП применяем выключатель нагрузки ВНА–10/400 УЗ. В качестве секционных выключателей применяются

аналогичные выключатели нагрузки.

Расчетные и каталожные данные выключателя нагрузки приведены в таблице 12.

Таблица 12 – Выбор выключателя нагрузки на вводе в ТП

Условия выбора	Расчетные параметры сети	Каталожные данные ВНА-10/400 УЗ
$U_{уст} \leq U_{ном}$	$u_{уст}=10$ кВ	$u_{ном}=10$ кВ
$I_{max} \leq I_{ном}$	$I_{max}=19,3$ А	$I_{ном}=400$ А

Сечение питающих кабельных линий от ТП до детского сада следует определять по допустимому току кабеля в аварийном режиме работы и с учетом условия отстройки от тока плавкой вставки и проверять по потере напряжения.

Для линии с максимальным током равным 382,9 А с учетом того, что для защиты данной линии в ТП установлен предохранитель с током плавкой вставки, равным 400 А выбирается сдвоенный кабель 2хАПвзББШп-1 4х120 с длительно допустимым током $I_{д.доп.} = 504$ А [18].

Допустимый ток кабеля необходимо скорректировать согласно условиям его прокладки:

$$I'_{доп} = k_{п} \cdot k_{t} \cdot I_{доп}, \quad (29)$$

где $k_{п}$ – поправочный коэффициент на количество параллельно прокладываемых кабелей [11], в нашем случае $k_{п} = 0,9$ при 2 кабелях в траншее (вторые 2 кабеля прокладываются на расстоянии 500 мм от первой пары и следовательно данный коэффициент необходимо применять для двух кабелей);

k_{t} – поправочный коэффициент на температуру окружающей среды, так как нет точных данных о температуре окружающей среды, то данный коэффициент принимаем равным 1,00 [11].

$$I'_{\text{доп}} = 0,9 \cdot 1,0 \cdot 504 = 453,6 \text{ А.}$$

Так как

$$I'_{\text{доп}} = 453,6 \text{ А} > I_{\text{р.маx}} = 382,9 \text{ А,}$$

то выбранные кабели проходят по условию допустимого тока кабеля с учетом условий его прокладки.

Потеря напряжения в кабельной линии от ТП до детского сада в послеаварийном режиме определяется по выражению:

$$\Delta U = \frac{(P_{\text{P}} \cdot r_0 + Q_{\text{P}} \cdot x_0) \cdot l}{U_{\text{ном}}^2} \cdot 100 \% \leq U_{\text{доп}} = 5\%, \quad (30)$$

где P_{P} – расчетная активная мощность, передаваемая по кабельной линии, кВт;

Q_{P} – расчетная реактивная мощность, передаваемая по кабельной линии, квар;

r_0 – удельное активное сопротивление кабельной линии от ТП до детского сада, $r_0 = 0,135 \text{ Ом/км}$;

x_0 – удельное индуктивное сопротивление кабельной линии от ТП до детского сада, $x_0 = 0,041 \text{ Ом/км}$;

l – длина кабельной линии от ТП до детского сада, $l = 268 \text{ м}$.

Для рассчитываемой кабельной линии от ТП до детского сада, выполненной кабелем 2хАПвзББШп–1 4х120, потери напряжения составляют

$$\Delta U = \frac{(225,2 \cdot 10^3 \cdot 0,135 + 58,5 \cdot 10^3 \cdot 0,041) \cdot 268 \cdot 10^{-3}}{400^2} \cdot 100 \% = 5,49 \%$$

Так как потери напряжения в кабельной линии от ТП до детского сада больше 5%, то данный кабель не проходит проверку, поэтому необходимо увеличить сечение выбранного кабеля до 2хАПвзББШп–1 4х150, длительно допустимый ток которого равен 566 А, удельное активное сопротивление кабельной линии от ТП до детского сада $r_0 = 0,105$ Ом/км; удельное индуктивное сопротивление кабельной линии от ТП до детского сада, $x_0 = 0,04$ Ом/км. Для данного кабеля

$$\Delta U = \frac{(225,2 \cdot 10^3 \cdot 0,105 + 58,5 \cdot 10^3 \cdot 0,04) \cdot 268 \cdot 10^{-3}}{400^2} \cdot 100 \% = 4,36 \%$$

Так как потери напряжения в кабельной линии от ТП до детского сада меньше 5%, то данный кабель проходит проверку.

Выводы по разделу.

В четвертом разделе ВКР проведен расчет внешнего электроснабжения детского сада. Для питания ТП детского сада выбран кабель АПвП–10–3х150. РУ 10 кВ трансформаторной подстанции состоит из шкафов КСО–386 с выключателями нагрузки ВНА–10/400 УЗ и КСО–208 с вакуумными выключателями ВВ/TEL–10–20/630 УЗ.

Для подключения детского сада от КТП выбран кабель 2хАПвзББШп–1 4х150.

5 Расчет токов короткого замыкания

«Основная причина аварийных режимов в электрических установках – это трехфазные, двухфазные, двухфазные на землю и однофазные КЗ. Расчеты аварийных режимов при проектировании электроустановки нужны для выбора аппаратуры подстанции и проверки токоведущих частей на их термическую и электродинамическую стойкость, и, кроме того, для расчета релейной защиты и заземляющих устройств. Все элементы сети необходимо представить схемами замещения. На данных схемах приводим активные и индуктивные сопротивления элементов, по которым могут протекать токи КЗ» [16].

Составляем схему замещения (рисунок 4). На схеме отмечаем точки КЗ. После этого преобразуем схему к упрощенному варианту. Рассчитываем токи в этих точках.

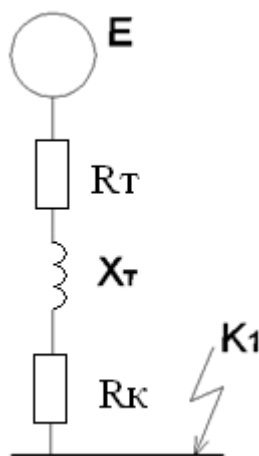


Рисунок 4 – Схема замещения сети

«Суммарное сопротивление в точке K_1 . Сопротивление энергосистемы до силового трансформатора принимается равным нулю, вследствие его малости относительно сопротивления трансформатора ТП и элементов сети 0,4 кВ. В сети напряжением ниже 1000 В следует учитывать и индуктивные и активные сопротивления» [16].

«Полное сопротивление трансформатора ТП» [4]:

$$z_T = \frac{U_{K3}}{100} \cdot \frac{S_B}{S_{HT}}, \quad (31)$$

$$z_T = \frac{4,5}{100} \cdot \frac{1000 \cdot 10^3}{250} = 180;$$

«активное сопротивление трансформатора» [4]:

$$r_T = \Delta P_{K3} \cdot \frac{S_B}{S_{HT}^2}, \quad (32)$$

$$r_T = 3,1 \cdot \frac{1000 \cdot 10^3}{250^2} = 49,6;$$

«индуктивное сопротивление трансформатора» [4]:

$$x_T = \sqrt{z_T^2 - r_T^2}, \quad (33)$$

$$x_T = \sqrt{180^2 - 49,6^2} = 173,0.$$

Согласно [4] «для РУ ЦТП переходное сопротивление контактов равно $r_K=0,015$ Ом. Данное сопротивление переводим в относительные единицы» [4]:

$$r_{K*} = \frac{r_K}{r_B} = r_K \cdot \frac{S_B}{U_B^2}, \quad (34)$$

$$r_{K*} = 0,015 \cdot \frac{1000}{0,4^2} = 93,75.$$

«Суммарное активное сопротивление» [4]:

$$r_\Sigma = r_T + r_K; \quad (35)$$

$$r_\Sigma = 49,6 + 93,75 = 143,35;$$

«суммарное индуктивное сопротивление» [4]:

$$x_{\Sigma} = x_{T} = 173,0; \quad (36)$$

«полное сопротивление» [4]:

$$z_{\Sigma} = \sqrt{x_{\Sigma}^2 + r_{\Sigma}^2}, \quad (37)$$
$$z_{\Sigma} = \sqrt{173,0^2 + 143,35^2} = 224,7.$$

«Мощность КЗ в точке короткого замыкания К1» [4]:

$$S_{K31} = S_{B} / z_{\Sigma}, \quad (38)$$
$$S_{K31} = 1000 / 224,7 = 4,5 \text{ МВА.}$$

«Ток КЗ определяем по выражению» [4]:

$$I_{K1} = I_{\Pi,0} = I_{\Pi t} = \frac{S_{K31}}{\sqrt{3} \cdot U_{B}}, \quad (39)$$
$$I_{K1} = I_{\Pi,0} = I_{\Pi t} = \frac{4,5}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 6,5 \text{ кА.}$$

«Ударный ток в точке К1» [4]:

$$i_{уд.К1} = \sqrt{2} \cdot I_{K1} \cdot k_{уд}; \quad (40)$$

где $k_{уд}$ – «ударный коэффициент, $k_{уд} = 1,6$ » [4]:

$$i_{уд.К1} = \sqrt{2} \cdot 6,5 \cdot 1,6 = 14,7 \text{ кА.}$$

Выводы по разделу.

В пятом разделе ВКР рассчитан ток короткого замыкания на сборных шинах 0,4 кВ ТП, от которой подключен детский садик.

6 Расчет и выбор электрооборудования

Автоматический выключатель (АВ) — это устройство, которое служит для автоматического отключения электрической сети в случае превышения допустимой нагрузки, короткого замыкания или другого аварийного состояния. При выборе автоматического выключателя для конкретной электрической сети следует учитывать несколько факторов, которые приведены ниже.

Тип автоматического выключателя: существует несколько типов автоматических выключателей, каждый из которых имеет свои особенности. Например, автоматические выключатели типа А, В, С и D имеют различные характеристики времени срабатывания и токовые характеристики, что влияет на их способность защищать электрические сети разного типа и мощности.

Номинальный ток: выбор автоматического выключателя зависит от номинального тока электрической сети. Номинальный ток определяется максимальной нагрузкой, которую может выдержать система без превышения тока. Выбирая автоматический выключатель, необходимо убедиться, что его номинальный ток соответствует номинальному току электрической сети.

Способ установки: автоматические выключатели могут быть установлены как на DIN-рейку в распределительном щитке, так и на монтажную панель. При выборе автоматического выключателя необходимо убедиться, что он подходит для способа установки, используемого в конкретной электрической сети.

Дополнительные функции: некоторые автоматические выключатели могут иметь дополнительные функции, такие как защита от перегрузки, короткого замыкания, а также защита от замораживания, влаги и пыли. При выборе автоматического выключателя необходимо учитывать требования к

дополнительным функциям, если такие функции необходимы для конкретной электрической сети.

Стандарты и нормы: выбирая автоматический выключатель, необходимо учитывать соответствующие стандарты и нормы, определяющие требования к автоматическим выключателям для конкретных типов электрических сетей. Например, для электрических сетей в жилых зданиях и офисах могут быть установлены автоматические выключатели, соответствующие стандартам IEC 60898-1 и IEC 60947-2.

Расчет тока короткого замыкания: при выборе автоматического выключателя необходимо учитывать расчет тока короткого замыкания, который зависит от мощности электрической сети, длины кабеля и других факторов. Расчет тока короткого замыкания позволяет определить номинальный ток автоматического выключателя и выбрать подходящий тип.

Работоспособность в различных условиях: автоматический выключатель должен быть способен работать в различных условиях, например, при изменении температуры, влажности, атмосферного давления и т.д. При выборе автоматического выключателя необходимо учитывать условия эксплуатации и выбирать выключатель, который соответствует этим условиям.

В целом, при выборе автоматического выключателя для конкретной электрической сети необходимо учитывать множество факторов, чтобы обеспечить эффективную защиту от перегрузки, короткого замыкания и других аварийных ситуаций. Раздел выбора автоматических выключателей в ВКР должен включать описание этих факторов и методы их учета при выборе конкретного выключателя.

«Автоматические выключатели напряжением до 1 кВ выбираются по нижеприведенным условиям» [28].

«По номинальному напряжению» [19]:

$$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{ном.уст.}}; \quad (41)$$

$$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{ном.уст.}} = 0,38 \text{ кВ};$$

«По номинальному току теплового расцепителя» [19]:

$$I_{\text{т.р.}} \geq k_{\text{расц.}} \cdot I_{\text{ном.ЭП}}; \quad (42)$$

где $k_{\text{расц.}}$ – «коэффициент теплового расцепителя, для нерегулируемого теплового расцепителя $k_{\text{расц.}} = 1,15$, для группы электроприемников $k_{\text{расц.}} = 1,1$ » [19].

Для шкафа распределительного технологического оборудования постирочной ЩТ1:

$$I_{\text{т.р.}} \geq 1,1 \cdot 42,9 = 47,2 \text{ А.}$$

«По номинальному току электромагнитного расцепителя» [19]:

– «для одиночного электроприемника» [19]:

$$I_{\text{у.э.р.}} \geq 1,2 \cdot I_{\text{пуск}}; \quad (43)$$

где $I_{\text{пуск}}$ – пусковой ток,

$$I_{\text{пуск}} = 5 \cdot I_{\text{ном}}; \quad (44)$$

– «для группы электроприемников» [19]:

$$I_{\text{у.э.р.}} \geq 1,25 \cdot I_{\text{пик}}; \quad (45)$$

Для шкафа распределительный технологического оборудования постирочной ЩТ1:

$$I_{\text{пик}} = 5 \cdot 42,9 = 214,5 \text{ А};$$

$$I_{\text{у.э.р.}} \geq 1,25 \cdot 214,5 = 268,1 \text{ А.}$$

«По номинальному току автоматического выключателя» [19]:

$$I_{\text{ном.АВ}} \geq I_{\text{р}}; \quad (46)$$

где $I_{\text{р}}$ – расчетный ток линии, А.

«Расчетный ток определяется в зависимости от числа электроприемников, получающих питание по линии» [19].

– «для одиночного электроприемника» [19]:

$$I_{\text{р.}} = I_{\text{ном.ЭП}}; \quad (47)$$

– «для группы электроприемников» [19]:

$$I_{\text{р.}} = \Sigma I_{\text{ном.ЭП}}; \quad (48)$$

Для шкафа распределительный технологического оборудования постирочной ЩТ1:

$$I_{\text{р.}} = 42,9 \text{ А.}$$

Принимается к установке автоматический выключатель ВА47–100 $I_{\text{ном.АВ}} = 125 \text{ А}$, $I_{\text{г.р.}} = 50 \text{ А}$ параметры которого представлены в таблице 17. Аналогично выбираются остальные автоматические выключатели. Результаты расчетов сведены в таблице 13.

Таблица 13 – Результаты выбора автоматических выключателей детского сада

Электроприемник	Электроприемник				Автоматический выключатель				
	$P_{ном},$ кВт	$I_{ном},$ А	$I_{пуск},$ А	$I_{к},$ кА	Тип	$I_{ном.ав},$ А	$I_{тр},$ А	$I_{у.э.р.},$ А	$I_{ном.откл.},$ кА
ВРУ3	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Рабочее освещение ЩО–1	4,2	6,9	–	6,5	ВА47– 100	125	10	120	10
Рабочее освещение ЩО–2	13,8	22,8	–	6,5	ВА47– 100	125	32	384	10
Рабочее освещение ЩО–3	12,2	20,1	–	6,5	ВА47– 100	125	25	300	10
Шкаф распределительный технологического оборудования постирочной ЦТ1	26	42,9	214,5	6,5	ВА47– 100	125	50	600	10
Шкаф распределительный технологического оборудования пищеблока ЦТ4	26,5	43,8	219	6,5	ВА47– 100	125	50	600	10
Оборудование ГРПШ (рабочий ввод) ШР– ГРПШ 220 В	1,5	6,8	34	6,5	ВА47– 100	125	10	120	10
Оборудование блочной котельной (рабочий ввод) ШР– ТБГК	12	21,4	107	6,5	ВА47– 100	125	25	300	10
ВРУ4	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Шкаф распределительный технологического оборудования медблока ЦТ2	1,3	2,1	10,5	6,5	ВА47– 100	125	10	120	10
Шкаф распределительный технологического оборудования ЦТ3	4,7	7,8	39	6,5	ВА47– 100	125	10	120	10
Шкаф распределительный технологического оборудования пищеблока ЦТ5	18,2	30,1	150,5	6,5	ВА47– 100	125	40	480	10
Шкаф распределительный технологического оборудования ЦТ6	7,5	12,4	62	6,5	ВА47– 100	125	16	192	10

Продолжение таблицы 13

Электроприемник	Электроприемник				Автоматический выключатель				
	$P_{ном},$ кВт	$I_{ном},$ А	$I_{пуск},$ А	$I_{к},$ кА	Тип	$I_{ном.ав},$ А	$I_{тр},$ А	$I_{у.э.р.},$ А	$I_{ном.откл.},$ кА
Шкаф распределительный технологического оборудования ЩТ7	9,3	15,4	77	6,5	ВА47– 100	125	25	300	10
Оборудование ГРПШ (резервный ввод) ШР– ГРПШ	1,5	6,8	34	6,5	ВА47– 100	125	10	120	10
Оборудование блочной котельной (рабочий ввод) ШР– ТРГК	12	21,4	107	6,5	ВА47– 100	125	25	300	10
Ящик наружного освещения Я1	4,3	7,1	35,5	6,5	ВА47– 100	125	10	120	10
1 категория	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Шкаф управления лифта Q=250кг ШУЛ1	2	3,8	19	6,5	ВА47– 100	125	10	120	10
Шкаф управления лифта Q=630кг ШУЛ2	6	11,4	57	6,5	ВА47– 100	125	16	192	10
Шкаф управления лифта Q=630кг ШУЛ3	6	11,4	57	6,5	ВА47– 100	125	16	192	10
Аварийное освещение ЩОА1	0,8	1,3	–	6,5	ВА47– 100	125	10	120	10
Аварийное освещение ЩОА2	8	13,2	–	6,5	ВА47– 100	125	16	192	10
Аварийное освещение ЩОА3	6	9,9	–	6,5	ВА47– 100	125	16	192	10
Оборудование ОПС ИБП 220 В	2	9	45	6,5	ВА47– 100	125	10	120	10
Шкаф управления вентиляцией ШУВ1.1	10,7	21,1	105,5	6,5	ВА47– 100	125	25	300	10
Ввод 0,4 кВ	225,7	382,9	1914,3	6,5	ВА57–39	630	500	6000	35

Выводы по разделу.

В шестом разделе ВКР выбраны автоматические выключатели детского сада, установленные в вводно-распределительных устройствах детского сада.

7 Расчет проводников

Выбор кабелей для конкретной электрической сети зависит от нескольких факторов, включая мощность, напряжение, длину линии передачи и окружающую среду. Для расчета кабелей необходимо учитывать следующие теоретические аспекты:

- проводимость материала: проводимость материала определяет способность кабеля передавать ток. Чем выше проводимость, тем меньше сопротивление кабеля и тем меньше потери мощности. Медь является материалом с наибольшей проводимостью, что делает ее одним из наиболее популярных материалов для кабелей.
- мощность: для определения допустимой мощности кабеля необходимо учитывать текущий и будущий потребности в мощности, а также пиковые нагрузки.
- напряжение: выбор кабеля также зависит от напряжения системы. Напряжение определяет толщину изоляции, которая необходима для обеспечения безопасности и защиты от коротких замыканий.
- длина кабеля: длина кабеля также является фактором при выборе кабеля. Чем длиннее кабель, тем больше потери мощности и тем толще должна быть его изоляция.
- температура окружающей среды: температура окружающей среды также является важным фактором при выборе кабеля. Некоторые материалы могут деформироваться или ухудшаться при высоких или низких температурах, что может снижать эффективность кабеля.
- стандарты и нормы: при выборе кабеля необходимо учитывать соответствующие стандарты и нормы, определяющие требования к кабелям для конкретных типов электрических систем и условий эксплуатации.

При выборе кабеля также необходимо учитывать практические аспекты, такие как стоимость, доступность на рынке и удобство установки.

Сечение кабеля выбирается по длительно допустимому току по условию нагрева.

$$I_p \leq I_{д.д.}, \quad (49)$$

где $I_{д.д.}$ – длительно допустимый ток кабеля;

I_p – расчетный ток линии;

$$I_p \leq \frac{P_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos\varphi}. \quad (50)$$

Для шкафа распределительный технологического оборудования постирочной ЩТ1:

$$I_p \leq \frac{26}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,92} = 42,9 \text{ А.}$$

Для питания шкафа распределительный технологического оборудования постирочной ЩТ1 $I_p = 42,9$ А выбираем кабель ВВГнг(А)–LSLT–5x25 с допустимым током $I_{д.д.} = 104$ А. Так как средняя температура окружающей среды в детском садике не измеряется, то будем считать, что она равна нормируемой, и таким образом, $I_{д.д.} = 104$ А.

«Выбранные по допустимому длительному току сечения проводников детского садика должны быть проверены на потерю напряжения» [28].

«Потери напряжения в распределительной сети детского садика можно рассчитать методом момента нагрузки по мощности» [28]:

$$\Delta U = \frac{P \cdot l}{C \cdot F}, \quad (51)$$

где P – «активная мощность светильников линии, кВт» [28];

l – «длина линии, м» [28];

C – «коэффициент, для трехфазных сетей $C = 77 \text{ кВт}\cdot\text{м}/\text{мм}^2$ » [28];

F – «сечение кабеля, мм^2 » [28].

Для шкафа распределительный технологического оборудования постирочной ЦТ1:

$$\Delta U = \frac{26 \cdot 55}{77 \cdot 25} = 0,8 \% < 5\%.$$

Аналогично выбираются и проверяются остальные кабели. Кроме того, выбранные кабели необходимо проверить по отстройке от выбранных аппаратов защиты по условию:

$$I_{д.д.} \geq I_{т.р.}; \quad (52)$$

Для шкафа распределительный технологического оборудования постирочной ЦТ1 выбран кабель ВВГнг(А)–LSLT–5х25 с длительным допустимым током $I_{д.д.} = 104 \text{ А}$, тогда

$$I_{д.д.} = 104 \text{ А} \geq I_{т.р.} = 50 \text{ А},$$

а значит выбранный кабель удовлетворяет данному требованию.

Результаты выбора кабельных линий детского сада приведены в таблице 14.

Таблица 14 – Результаты выбора кабельных линий детского сада

№ по плану	$P_{ном}, \text{ кВт}$	$I_{ном}, \text{ А}$	Марка	$I_{д.д.}, \text{ А}$	Длина, м	$\Delta U, \%$
ВРУЗ						
Рабочее освещение ЩО–1	4,2	6,9	ВВГнг(А)–LSLT–5×6	10	55	0,6

Продолжение таблицы 14

№ по плану	$P_{\text{ном}}$, кВт	$I_{\text{ном}}$, А	Марка	$I_{\text{д.д}}$, А	Длина, м	ΔU , %
Рабочее освещение ЩО-2	13,8	22,8	ВВГнг(А)-LSLT-5×16	32	40	0,5
Рабочее освещение ЩО-3	12,2	20,1	ВВГнг(А)-LSLT-5×16	25	35	0,4
Рабочее освещение ЩО-4	7,4	12,2	ВВГнг(А)-LSLT-5×6	32	10	0,2
Рабочее освещение ЩО-5	6,2	10,2	ВВГнг(А)-LSLT-5×6	25	10	0,2
Шкаф распределительный технологического оборудования постирочной ЦТ1	26	42,9	ВВГнг(А)-LSLT-5×25	50	55	0,8
Шкаф распределительный технологического оборудования пищеблока ЦТ4	26,5	43,8	ВВГнг(А)-LSLT-5×25	50	60	0,8
Оборудование ГРПШ (рабочий ввод) ШР-ГРПШ 220 В	1,5	6,8	ВВГнг(А)-LSLT-3×6	10	40	0,1
Оборудование блочной котельной (рабочий ввод) ШР-ТБГК	12	21,4	ВВГнг(А)-LSLT-5×6	25	40	0,5
ВРУ4						
Шкаф распределительный технологического оборудования медблока ЦТ2	1,3	2,1	ВВГнг(А)-LSLT-5×6	6	50	0,2
Шкаф распределительный технологического оборудования ЦТ3	4,7	7,8	ВВГнг(А)-LSLT-5×16	16	60	0,3
Шкаф распределительный технологического оборудования пищеблока ЦТ5	18,2	30,1	ВВГнг(А)-LSLT-5×25	25	60	0,6
Шкаф распределительный технологического оборудования ЦТ6	7,5	12,4	ВВГнг(А)-LSLT-5×16	16	40	0,3
Шкаф распределительный технологического оборудования ЦТ7	9,3	15,4	ВВГнг(А)-LSLT-5×16	25	35	0,3
Шкаф распределительный технологического оборудования ЦТ8	5	8,3	ВВГнг(А)-LSLT-5×6	16	10	0,1
Шкаф распределительный технологического оборудования ЦТ9	5,1	8,4	ВВГнг(А)-LSLT-5×6	25	10	0,1

Продолжение таблицы 14

№ по плану	Р _{ном} , кВт	I _{ном} , А	Марка	I _{д.д} , А	Длина, м	ΔU, %
Оборудование ГРПШ (резервный ввод) ШР–ГРПШ	1,5	6,8	ВВГнг(А)–LSLT–5×6	25	40	0,1
Оборудование блочной котельной (рабочий ввод) ШР–ТРГК	12	21,4	ВВГнг(А)–LSLT–5×16	25	40	0,1
Ящик наружного освещения Я1	4,3	7,1	ВВГнг(А)–LSLT–5×6	10	5	0,1
1 категория						
Шкаф управления лифта Q=250кг ШУЛ	2	3,8	ВВГнг(А)–LSLT–5×6	10	60	0,3
Шкаф управления лифта Q=630кг ШУЛ	6	11,4	ВВГнг(А)–LSLT–5×16	16	65	0,3
Шкаф управления лифта Q=630кг ШУЛ	6	11,4	ВВГнг(А)–LSLT–5×6	16	20	0,3
Аварийное освещение ЩОА1	0,8	1,3	ВВГнг(А)–FRLSLT–5×6	10	55	0,1
Аварийное освещение ЩОА2	8	13,2	ВВГнг(А)–FRLSLT–5×16	16	40	0,3
Аварийное освещение ЩОА3	6	9,9	ВВГнг(А)–LSLT–5×16	16	35	0,2
Аварийное освещение ЩОА4	3	5	ВВГнг(А)–FRLSLT–5×6	16	10	0,1
Аварийное освещение ЩОА5	2,5	4,1	ВВГнг(А)–FRLSLT–5×6	16	10	0,1
Оборудование ОПС ИБП 220 В	2	9	ВВГнг(А)–FRLSLT–3×6	10	10	1
Шкаф управления вентиляцией ШУВ1.1	10,7	21,1	ВВГнг(А)–FRLSLT–5×6	25	5	0,1

Выводы по разделу.

В седьмом разделе ВКР выбраны кабельные линии внутреннего электроснабжения детского сада. Выбраны кабели марки ВВГнг(А)–LSLT и ВВГнг(А)–FRLSLT.

Заключение

В выпускной квалификационной работе разработан проект системы электроснабжения детского сада.

Приведены общие сведения об объекте проектирования. Приведены планы этажей детского сада, а также характеристики и потребителей помещений детского сада.

Разработана система освещения и рассчитаны электрические нагрузки детского сада. Для освещения детского сада приняты светильники OWP OPTIMA LED 1200 IP54/IP54 4000K и SAFARI DL LED 26 HFD 3000K.

Выбрана трансформаторная подстанция с учетом компенсации реактивной мощности. Приняты к установке две установки компенсации реактивной мощности УКМ 58–04–50–25 УЗ, производства компании ЗАО «Электроинтер». Для электроснабжения детского сада принята 2КТП–250–10/0,4 с трансформаторами ТМГ–250–10/0,4. Приведены технические характеристики силовых трансформаторов ТМГ–250–10/0,4.

Проведен расчет внешнего электроснабжения детского сада. Для питания ТП детского сада выбран кабель АПвП–10–3х150. РУ 10 кВ трансформаторной подстанции состоит из шкафов КСО–386 с выключателями нагрузки ВНА–10/400 УЗ и КСО–208 с вакуумными выключателями ВВ/TEL–10–20/630 УЗ.

Для подключения детского сада от КТП выбран кабель 2хАПвзБбШп–1 4х150.

Рассчитан ток короткого замыкания на сборных шинах 0,4 кВ ТП, от которой подключен детский садик.

Выбраны автоматические выключатели детского сада, установленные в вводно-распределительных устройствах детского сада.

Выбраны кабельные линии внутреннего электроснабжения детского сада. Выбраны кабели марки ВВГнг(А)–LSLT и ВВГнг(А)–FRLSLT.

Список используемой литературы и используемых источников

1. Андреев А.В., Султанов Р.И. Современные системы электроснабжения и электрооборудования объектов промышленности. – М.: Техносфера, 2020. – 240 с.
2. Бакумовский В.А., Григорьев С.А. Электроснабжение объектов жилой и общественной застройки. – М.: Энергоиздат, 2015. – 352 с.
3. Глотов А.Г., Михайлова Е.А. Электроснабжение и основы электротехники. – М.: Лань, 2018. – 416 с.
4. ГОСТ 28249–93 «Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока до 1 кВ».
5. Кириллов А.П. Электроснабжение зданий и сооружений – СПб.: Издательство Питер, 2004. – 416 с.
6. Круглова Н.А., Никитин Н.В. Электроснабжение и электрооборудование зданий. – М.: Эксмо, 2016. – 320 с.
7. Правила устройства электроустановок – СПб.: Издательство ДЕАН, 2012. – 928 с.
8. Приказ Минэнерго РФ от 23 июня 2015 г. N 380
9. Проектирование систем электрического освещения / Козловская В.Б., Радкевич В.Н., Сацукевич В.Н. кол.авт. Белорусский национальный технический университет. – Минск: БНТУ, 2008. – 132 с.
10. Рожин А. Н., Бакшаева Н. С. Внутрицеховое электроснабжение. Учебное пособие для выполнения курсового и дипломного проектов. – Киров: Изд-во ВятГУ, 2006. – 258 с.
11. Скрипко В. К. Выбор электрооборудования и релейной защиты внутризаводского электроснабжения промышленных предприятий: Учебное пособие. Омск, Издательство ОмГТУ, 2000.
12. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23–05–95*

13. СП 256.1325800.2016 «Электроустановки жилых и общественных зданий правила проектирования и монтажа»
14. Справочная книга для проектирования электрического освещения /Г. М. Кноринг, И. М. Фадин, В.Н.Сидоров – 2-е изд. – М.: Энергоатомиздат. Санкт-Петербургское отделение 1992. – 448с.
15. Справочник по проектированию электрических сетей и электрооборудования / под ред. Ю.Г. Барыбина – М.: Энергоатомиздат, 1991 г. – 464 с.
16. Справочник по проектированию электроснабжения / под ред. Ю.Г. Барыбин – М.: Энергоатомиздат, 1992. – 576 с.
17. Степанов А.С., Кузнецов Д.А. Электроснабжение зданий. Теория и практика. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017. – 384 с.
18. Федеральный закон от 23 ноября 2009 г. N 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» // «Собрание законодательства РФ», 2009 г.
19. Шеховцов, В.П. Расчет и проектирование схем электроснабжения: методическое пособие для курсового проектирования / В.П. Шеховцов. – М.: ФОРУМ: ИНФРА – М., 2003. – 214с.
20. Шидловский А.К., Вагин Г.Я., Куренный Э.Г. Расчёты электрических нагрузок систем электроснабжения промышленных предприятий. – М.: Энергоатомиздат, 1992.–224 с.
21. Шлейников В.Б. Электроснабжение цеха промышленного предприятия.– Оренбург: ОГУ, 2012. – 115 с
22. Технические характеристики светодиодных светильников, производства компании ООО «МГК «Световые технологии». URL: <https://www.ltcompany.com/ru/products/types/> (Дата обращения 10.03.2023 г.)
23. Технические характеристики силовых трансформаторов, производства электротехнического завода имени В.И. Козлова. URL:

<http://metz.by> (Дата обращения 10.03.2023 г.)

24. Технические характеристики компенсирующих устройств. URL: <http://slavenergo.ru> (Дата обращения 10.03.2023 г.)

25. Технические характеристики и стоимость кабелей, производства «Камкабель». URL: <http://www.kamkabel.ru> (Дата обращения 10.03.2023 г.)

26. Технические характеристики автоматических выключателей. URL: <https://keaz.ru/> (Дата обращения 10.02.2023 г.)

27. Francis Vanek, Louis Albright, Largus Angenent. Energy Systems Engineering: Evaluation and Implementation. – New York: McGraw–Hill Education, 2017. – 688 с.

28. Alexandra von Meier. Electric Power Systems: A Conceptual Introduction. – Hoboken: John Wiley & Sons, 2018. – 480 с.

29. Clark W. Gellings and Patrick D. Platt. The Smart Grid: Enabling Energy Efficiency and Demand Response. – Boca Raton: CRC Press, 2011. – 392 с.

30. J. Duncan Glover, Mulukutla S. Sarma, Thomas Overbye. Power System Analysis and Design. – Boston: Cengage Learning, 2017. – 896 с.

31. Paul Breeze. Power Generation Technologies. – London: Elsevier, 2014. – 418 с.