

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

Институт химии и энергетики

(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»

(наименование)

13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

(код и наименование направления подготовки/ специальности)

Электроснабжение

(направленность (профиль) / специализация)

## ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Электроснабжение физкультурно-оздоровительного комплекса

Обучающийся

И.А. Артемкин

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент, Ю.В. Черненко

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

Тольятти 2022

## Аннотация

Темой ВКР является «Электроснабжение физкультурно-оздоровительного комплекса».

В работе рассчитаны электрические нагрузки:

- технологического электрооборудования (холодильная машина ледового поля, система водоподготовки);
- оборудования системы вентиляции;
- компрессорно-конденсаторных блоков системы кондиционирования;
- оборудования для обеспечения бесперебойной работы физкультурно-оздоровительного комплекса;
- внутреннего освещения (рабочего и аварийного);
- наружного освещения (включая архитектурное).

Расчет нагрузок позволил выбрать соответствующие силовые трансформаторы и компенсирующие устройства.

После выбора силовых трансформаторов, были вычислены токи короткого замыкания (ТКЗ).

Результаты расчетов ТКЗ, термической и электродинамической стойкости позволили выбрать электрооборудование КТП. Далее был проведен расчет и выбор кабельных линий.

Заключительным этапом ВКР является расчет заземляющего контура физкультурно-оздоровительного комплекса.

## Содержание

Введение.....	4
1 Анализ исходных данных по электроснабжению учреждения .....	5
2 Расчет и выбор системы электроснабжения учреждения .....	7
3 Расчет электрических нагрузок .....	9
4 Расчет освещения .....	16
5 Выбор и расчет числа и мощности трансформаторов.....	23
6 Расчет токов короткого замыкания .....	26
7 Выбор основного оборудования и его проверка.....	34
8 Выбор устройств релейной защиты и автоматики .....	38
9 Расчет контура заземления.....	44
Заключение .....	47
Список используемых источников.....	48

## Введение

Физическая культура и спорт является неотъемлемой частью нашей жизни, способствующей духовному и физическому развитию человека. Спорт является важной составляющей культуры нашей страны.

Правительство РФ 1 января 2022 года утвердило государственную программу «Развитие физической культуры и спорта». Предполагается увеличения количества людей до 70%, которые систематически будут заниматься спортом. В связи с этим, для повышения доступности занятия различными видами спорта необходимо строительство новых объектов спорта. Физкультурно-оздоровительные учреждения должны быть доступны для различных групп населения территориально, а также быть приспособлены для людей с разными физическими возможностями.

В связи с этим, спортивные объекты и сооружения должны соответствовать множеству строительных норм и правил, обеспечивать безопасность жизни и здоровья людей при занятиях спортом.

Целью ВКР является проектирование надежной и эффективной схемы электроснабжения физкультурно-оздоровительного комплекса.

Задачами данной работы являются:

- Провести расчет электрических нагрузок оборудования спортивного учреждения, освещения;
- Выбрать соответствующие силовые трансформаторы для электроснабжения физкультурно-оздоровительного комплекса;
- Рассчитать токи короткого замыкания (ТКЗ);
- Используя результаты расчетов ТКЗ, термической и электродинамической стойкости выбрать электрооборудование КТП;
- Выбрать кабельные линии;
- Рассчитать заземление и молниезащиту в соответствии с требованиями правил нормативных документов.

## **1 Анализ исходных данных по электроснабжению учреждения**

Физкультурно-оздоровительный комплекс имеет сложную объемно-пространственную композицию, которая состоит из трех блоков.

Блок I – Помещение, в котором размещается крытый каток с искусственным льдом. Размер игровой площадки 60x30 м, которая предназначена для проведения игр в хоккей, фигурного и массового катания.

Блок II – трехэтажный центральный объем, где размещаются служебные, технические, тренажерные залы, бассейн и сопутствующие ему помещения. Также в блоке предусмотрены помещения досугово-развлекательного назначения (зал и кафе на 53 места). Тренажерные зала оснащены силовыми тренажерами, фитнес-тренажерами, снарядами для различных групп мышц. Зал «сухого плавания» используется для подготовительных занятий пловцов.

Бассейн имеет 4 дорожки, размер 25x15 м, глубину переменную от 1,3 до 1,9 м. В зале бассейнов имеет оздоровительно-развлекательная ванна.

Блок III – представляет собой большой спортивный зал 48x36 м. В зале проводятся занятия по баскетболу, волейболу и гандболу.

В связи с этим, поскольку помещение катка и универсальный спортивный зал имеют высоту более 10 м, то предлагается установка прожекторных светодиодных светильников.

Напряжение сети, расположенной вблизи объекта спорта – 6 кВ.

Внутренние распределительные сети предполагается использовать напряжением 380/220 В.

Представим упрощенный план спортивного здания на рисунке 1.

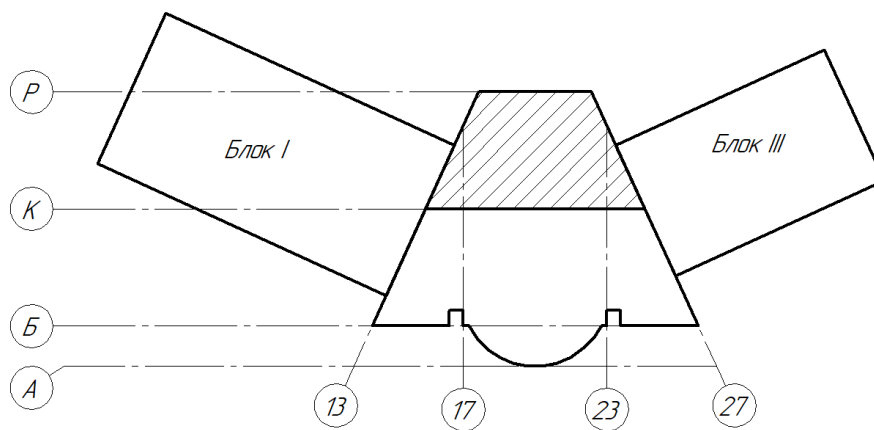


Рисунок 1 – Общий вид сверху физкультурно-оздоровительного комплекса

Выводы по разделу.

Для оказания услуг в сфере спорта требуется значительное количество электроэнергии поскольку имеются установки водоподготовки воды (для эксплуатации бассейна и заливки льда ледового поля), а также используется холодильная машина для наморозки ледового поля (мощность холодильной машины 230 кВт).

## **2 Расчет и выбор системы электроснабжения учреждения**

При выборе рода тока и напряжения следует учитывать следующие факторы.

Например, при увеличении расстояния, растет электрическое сопротивление проводов, и растут потери на их нагрев. Соответственно, чтобы уменьшить потери либо уменьшаем сопротивление проводников, либо увеличиваем передаваемое напряжение. С этой задачей может справиться только переменный ток.

Кроме того, в основном электроприемники спортивного учреждения – электропривода технологического оборудования, которые, как правило, потребителями трехфазного переменного тока.

К сферам потребления электрической энергии физкультурно-оздоровительного комплекса относят:

- Освещение;
- Насосное оборудование и система водоподготовки;
- Оборудование холодильной установки (конденсаторы, компрессоры, испарители);
- Лифты;
- Оборудование системы вентиляции;
- Компрессорно-конденсаторные блоки системы кондиционирования.

Для внутренних распределительных сетей, согласно ГОСТ 29322-2014 наибольшее применение получило напряжение 400/230 В, основным преимуществом которого является возможность совместного питания силовых и осветительных электроприемников, причём от сети 400 В будет питаться силовая нагрузка, а от сети 230 В будет питаться осветительная нагрузка.

В качестве основного средства компенсации реактивной мощности предприятиях рекомендуется применять батареи статических конденсаторов, которые являются наиболее экономичными источниками реактивной

мощности. Установка компенсирующего устройства необходима для повышения  $\cos \varphi$  предприятия и улучшения качества электроэнергии.

Для электроснабжения предприятия необходимо использование двух трансформаторов, поскольку большинство электроприемников относится к первой и второй категории надежности (таблица 1).

Таблица 1 – Категории надежности электроприемников

Электроприемник	Категория надежности	Питание
Аварийное освещение	I	Питание от сети, автономное питание
Система пожаротушения и охранная сигнализация, автоматика	I	
Рабочее освещение	II	Питание от сети, автономное питание не предусмотрено
Автоматика управления работой насосов, тепловычислители и датчики	I, II	
Система отопления и водоснабжения	I, II	
Оборудование системы вентиляции	I, II	
Система кондиционирования	II	
Технологическое оборудование	II	
Помещения обслуживающего персонала	III	
Распределительные сети	II, III	

#### Вывод по разделу

Распределительные сети необходимо выполнить напряжением 0,4 кВ, поскольку большинство электроприемников трехфазные электродвигатели.

Электродвигатели необходимы для работы компрессорных агрегатов, вентиляционного оборудования, а также системы кондиционирования (компрессорно-конденсаторные блоки).

Большинство электроприемников относится к I и II категориям надежности, поэтому предполагается установка двух трансформаторов для электроснабжения физкультурно-оздоровительного комплекса.



### 3 Расчет электрических нагрузок

«Расчетная активная мощность группы электроприемников:

$$P_{H\Sigma} = P_H \cdot n, \quad (1)$$

где  $n$  – число электроприемников;

$P_H$  – номинальная (установленная) мощность одного электроприемника, кВт» [15].

«Расчетная нагрузка:

$$P_p = K_c \cdot P_{H\Sigma} \quad (2)$$

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg}\varphi, \quad (3)$$

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} \quad (4)$$

где  $K_c$  – коэффициент спроса;

$\operatorname{tg}\varphi$  – коэффициент реактивной мощности» [15].

Максимальный расчетный ток:

$$I_p = \frac{S_p}{U \cdot \sqrt{3}} \quad (5)$$

где  $U$  – номинальное напряжение, кВ [15].

Для повышения коэффициента мощности проведем расчет компенсирующих устройств.

«Большинство потребителей электроэнергии наряду с активной мощностью потребляют и реактивную мощность, которая расходуется на создание электромагнитных полей и является бесполезной. Наличие в электросети реактивной мощности снижает качество электроэнергии, приводит к увеличению платы за электроэнергию, дополнительным потерям и

перегреву проводов, перегрузке подстанций, необходимости завышения мощности силовых трансформаторов и сечения кабелей, просадкам напряжения в электросети» [10].

Расчетная мощность УКРМ:

$$Q_{\text{КУ}} = \theta \cdot P_p \cdot (tg\varphi_1 - tg\varphi_2) \quad (6)$$

$$Q_{\text{КУ}} = 0,9 \cdot 838,77 \cdot (1,08 - 0,33) = 383,45 \text{ квар}$$

где  $\theta$  – коэффициент, учитывающий повышение коэффициента мощности;

$tg\varphi_1$  – значение коэффициента до компенсации;

$tg\varphi_2$  – значение коэффициента после компенсации.

Выбираем 2хУКРМ 0,4-190-10 поскольку подстанция используется двухтрансформаторная.

Проведем расчет нагрузок и результаты занесем в таблицу 2.

Таблица 2 – Расчет нагрузок физкультурно-оздоровительного комплекса

РУ	Наименование	$P_n$ кВт	n	$P_{н\sum}$ кВт	$K_c$	$\cos \varphi$	$\operatorname{tg} \varphi$	$P_p$ кВт	$Q_p$ квар	$S_p$ кВ·А	$I_p$ А
Оборудование системы вентиляции (ЩСВ1...ЩСВ8)			18	68,2	0,84	0,89	0,45	57,56	28,96	64,43	93
2	Электродвигатель приточной системы вентиляции	5,5	3	16,5	0,73	0,92	0,43	12,05	5,18	13,12	18,94
	Электродвигатель вытяжной системы вентиляции	2,2	5	11	0,84	0,83	0,67	9,24	6,19	11,12	16,05
	Привод поворотной заслонки	1,1	7	7,7	0,81	0,89	0,51	6,24	3,18	7	10,1
3	Общеобменное оборудование	11	3	33	0,91	0,9	0,48	30,03	14,41	33,31	48,08
Потребители системы связи (ЩСС1...ЩС4)			7	59,6	0,32	0,51	0,86	19,3	32,74	38,01	54,86
2	Коммутатор	11	2	22	0,4	0,6	1,33	8,8	11,7	14,64	21,13
	Репитер	5,2	3	15,6	0,25	0,55	1,52	3,9	5,93	7,1	10,25
4	Серверная	11	2	22	0,3	0,4	2,29	6,6	15,11	16,49	23,8
Оборудование системы водоподготовки (ЩВ1...ЩВ2)			8	32	0,84	0,79	0,61	27,03	20,88	34,16	49,31
3	Циркуляционный насос	5,5	5	27,5	0,86	0,79	0,78	23,65	18,45	30	43,3
	Оборудование фильтрации воды	1,5	3	4,5	0,75	0,81	0,72	3,38	2,43	4,16	6

Продолжение таблицы 2

РУ	Наименование	$P_n$ кВт	n	$P_{н\Sigma}$ кВт	$K_c$	$\cos \varphi$	$\operatorname{tg} \varphi$	$P_p$ кВт	$Q_p$ квар	$S_p$ кВ·А	$I_p$ А
3	Сетевой насос	5,5	8	44	0,7	0,88	0,54	30,8	16,63	35	50,52
	Привод задвижки	3	2	6	0,85	0,83	0,67	5,1	3,42	6,14	8,86
	Розеточная сеть	3	3	9	0,68	0,81	0,72	6,12	4,41	7,54	10,88
	Циркуляционный насос	4	2	8	0,78	0,86	0,59	6,24	3,68	7,24	10,45
	Осевой насос	0,55	1	0,55	0,79	0,7	1,02	0,43	0,44	0,62	0,89
	Центробежный насос	0,55	4	2,2	0,74	0,7	1,02	1,63	1,66	2,33	3,36
Оборудование и автоматика КНС (ЩЗ1,2 ; КН1,2)			8	34	0,85	0,43	0,9	28,8	60,98	67,44	97,34
3	Дренажный насос	5,5	4	22	0,9	0,49	1,78	19,8	35,24	40,42	58,34
	Привод запорной арматуры	3	4	12	0,75	0,33	2,86	9	25,74	27,27	39,36
Цепи управления и сигнализация (Я1...4; ПД1- Я)			5	2,75	1	0,95	0,31	2,75	0,91	2,9	4,19
5	Ящик управления	0,55	4	2,2	1	0,95	0,33	2,2	0,73	2,32	3,35
	Пожарная сигнализация	0,55	1	0,55	1	0,95	0,33	0,55	0,18	0,58	0,84

Продолжение таблицы 2

РУ	Наименование	$P_n$ кВт	n	$P_{n\Sigma}$ кВт	$K_c$	$\cos \varphi$	$\operatorname{tg} \varphi$	$P_p$ кВт	$Q_p$ квар	$S_p$ кВ·А	$I_p$ А
Лифтовое и подъемное оборудование (Л1,2)			8	28	0,89	0,55	0,83	25,04	37,62	45,19	65,23
4	Пассажирский лифт	3	4	12	0,9	0,5	1,73	10,8	18,68	21,58	31,15
	Грузовой лифт	4	4	16	0,89	0,6	1,33	14,24	18,94	23,7	34,21
Оборудование пожаротушения			8	28	0,74	0,54	0,84	20,8	32,15	38,29	55,27
4	Компрессор	3	4	12	0,8	0,6	1,33	9,6	12,77	15,98	23,07
	Насос подачи воды	4	4	16	0,7	0,5	1,73	11,2	19,38	22,38	32,3
Воздухоосушители (К1...К3)			16	152	0,72	0,54	0,84	109,36	171,85	203,7	294,02
2	Адсорбционные осушители	13	4	52	0,73	0,4	2,29	37,96	86,93	94,86	136,92
	Конденсационные осушители	30	2	60	0,65	0,6	1,33	39	51,87	64,9	93,68
3	Автоматика поддержания микроклимата	4	10	40	0,81	0,7	1,02	32,4	33,05	46,28	66,8
Оборудование системы кондиционирования (ЦСК1,ЦСК2)			7	51,6	0,56	0,4	0,92	29,13	67,6	73,61	106,25
2	Компрессорно-конденсаторные блоки	15	2	30	0,6	0,4	2,29	18	41,22	44,98	64,92
	Конденсатор	7,5	2	15	0,5	0,35	2,68	7,5	20,1	21,45	30,96
	Испаритель	2,2	3	6,6	0,55	0,5	1,73	3,63	6,28	7,25	10,46

Продолжение таблицы 2

РУ	Наименование	$P_n$ кВт	n	$P_{н\Sigma}$ кВт	$K_c$	$\cos \varphi$	$\operatorname{tg} \varphi$	$P_p$ кВт	$Q_p$ квар	$S_p$ кВ·А	$I_p$ А
3	Защитная автоматика и релейная защита (ЩА)			1,5	1	0,9	0,48	1,5	0,72	1,66	2,4
5	Аварийные светодиодные светильники			15,2	1	0,95	0,33	15,2	5,02	16,01	23,11
1	Уличные светодиодные светильники			2,8	0,7	0,95	0,33	1,96	0,65	2,06	2,97
	Внутреннее светодиодные светильники			22,9	0,8	0,95	0,33	18,32	6,05	19,29	27,84
Нагрузка холодильной машины				230	0,7	0,8	0,75	161	120,75	201,25	290,48
Итого на шинах НН без УКРМ				—	—	0,68	1,08	568,07	617,12	838,77	1210,66
Итого на шинах НН с УКРМ				—	—	0,92	0,43	568,07	237,12	615,57	888,5
Потери $T_p$ НН				—	—	—	—	12,31	61,56	62,78	90,62
Итого				—	—	—	—	580,38	298,68	652,73	942,13

Вывод по разделу.

При проведении расчета электрических нагрузок была получена полная мощность электроприемников физкультурно-оздоровительного комплекса, которая составляет 652,73 кВА.

На данном предприятии используются электроприемники различных категорий надежности (таблица 1). В составе некоторых групп используются электроприемники разных категорий надежности. Насосы спортивного комплекса используется помимо подачи воды также для системы пожаротушения, которая относится к первой категории надежности. Система вентиляции также имеет в своем составе оборудование дымоудаление, которое относится к первой категории надежности.

На основании полученных данных, будет проведен расчет и выбор трансформаторов.

#### 4 Расчет освещения

На территории физкультурно-оздоровительного комплекса используется внутреннее и наружное (включая архитектурное) искусственное освещение.

Внутреннее эвакуационное освещение может работать автономно с использованием ИБП [17].

Исходными данными являются параметры помещения (длина, ширина, высота). Используя размеры, рассчитаем индекс каждого помещения:

$$i = \frac{F}{h \cdot (a+b)} \quad (7)$$

где  $a$ ,  $b$  – длина и ширина помещения соответственно, м;

$F$  – площадь освещаемого помещения,  $m^2$ ;

$h$  – высота установки светильника от уровня земли, м.

Высоту установки светильника от уровня земли примем 2,8 м.

Коэффициенты отражения помещений физкультурно-оздоровительного комплекса примем 70/50/30 для поверхностей потолка, стен и пола соответственно [21].

Коэффициенты неравномерности помещений для всех помещений  $t = 1,1$ . Коэффициенты запаса для помещений физкультурно-оздоровительного комплекса  $K_3 = 1$ .

Расчеты индексов помещений физкультурно-оздоровительного комплекса, представленные в таблице 3, позволяют определить коэффициент использования светодиодных светильников.

Значение освещенности для каждого светильника определим исходя из данных каталогов производителя. Далее занесем в таблицу 3 значения освещенности и проведем расчет числа светильников для всех помещений физкультурно-оздоровительного комплекса.



Количество светильников на каждое помещение физкультурно-оздоровительного комплекса:

$$N_{\text{св}} = \frac{E_{\text{норм}} \cdot F \cdot K_3 \cdot t}{\Phi_{\text{св}} \cdot \theta} \quad (8)$$

Количество светильников на помещение занесем в таблицу 3.

Таблица 3 – Расчет освещения

Помещение	Наименование помещения	a	b	h	E <sub>норм</sub>	i	Θ	Φ <sub>св</sub>	P	N
		м	м	м	Лк	–	–	Лм	Вт	
Помещения первого этажа										
01	Щитовая	3,24	11,07	2,9	300	0,86	52	3800	32	6
02	Сушильная комната	1,65	5,87	2,9	200	0,44	28	3800	32	2
03	С/у мужской	1,2	3,01	2,9	300	0,30	24	2000	18	2
04	Кладовая клюшек	1,79	9,19	2,9	200	0,52	30	3800	32	4
05	Душ мужской	1,14	7,08	2,9	300	0,34	26	2000	18	6
06	Судейская	2,08	4,76	2,9	400	0,50	29	3800	32	4
07	Ремонтная	2,18	5,48	2,9	300	0,54	32	3800	32	4
08	Коридор	2,1	9,07	2,9	200	0,59	36	2200	32	6
09	Коридор	2,26	5,18	2,9	200	0,54	32	2200	32	4
10	Лестничная клетка 1	2,36	7,78	2,9	250	0,62	38	810	9	16
11	Тамбур	1,11	2,79	2,9	400	0,27	23	3800	32	2
12	С/у общий	1,3	2,65	2,9	300	0,30	24	2000	18	2
13	Тепловой пункт	3,98	11,03	2,9	300	1,01	56	3800	32	8
14	Слесарная	1,63	6,24	2,9	300	0,45	28	3800	32	4
15	Помещение тренера	2,3	4,69	2,9	300	0,53	32	3800	32	4
16	Помещение тренера	1,29	8,04	2,9	300	0,38	26	3800	32	4
17	Гардероб МОП	2,31	5,29	2,9	300	0,55	34	3800	32	4
18	Машинное отделение лифтов	2,78	8,55	2,9	300	0,72	48	3800	32	4
19	Помещение водоподготовки	1,56	7,66	2,9	300	0,45	28	3800	32	4
20	Мастерская	2,67	14,4	2,9	300	0,78	50	3800	32	8
21	Охранная	2,9	6,64	2,9	300	0,70	45	3800	32	4
22	Коридор	5,5	22,87	2,9	200	1,53	66	2200	32	20

Продолжение таблицы 3

Поме- щение	Наименование помещения	a	b	h	E <sub>норм</sub>	i	Θ	Φ <sub>св</sub>	P	N
		м	м	м	Лк	–	–	Лм	Вт	
Помещения первого этажа										
23	КНС	2,49	14,74	2,9	200	0,73	48	3800	32	4
24	Склад химии	2,87	6,99	2,9	250	0,70	46	3800	32	4
25	Оборудование дезинфекции	1,47	7,9	2,9	250	0,43	27	3800	32	4
26	Помещение ремонтников	1,39	7,15	2,9	200	0,40	26	3800	32	2
27	Лестничная клетка 2	2,66	6,9	2,9	200	0,66	44	810	9	12
28	Тамбур	1,17	2,67	2,9	300	0,28	24	3800	32	2
29	Спортзал	5,49	23,78	2,9	400	1,54	66	3800	32	24
30	Женская раздевалка	3,11	8,63	2,9	300	0,79	50	3800	32	6
31	Душ женский	1,05	5,64	2,9	300	0,31	24	2000	18	4
32	Душ мужской	1,58	3,74	2,9	300	0,38	26	2000	18	4
33	Мужская раздевалка	1,97	10,13	2,9	300	0,57	36	3800	32	6
34	С/у мужской	0,79	4,67	2,9	300	0,23	21	2000	18	4
35	Мужская раздевалка	2,86	11,9	2,9	300	0,80	50	3800	32	6
36	Душ женский	1	5,65	2,9	300	0,29	24	2000	18	4
37	С/у и душ инвалидов	1,07	4,25	2,9	300	0,29	24	2000	18	4
38	С/у и душ инвалидов	1,43	3,08	2,9	300	0,34	26	2000	18	4
39	С/у женский	1,2	3,31	2,9	300	0,30	24	2000	18	4
40	Женская раздевалка	3,29	8,82	2,9	300	0,83	51	3800	32	6
41	С/у женский	1,01	3,19	2,9	300	0,26	23	2000	18	2
42	Инструментальна я	6,38	13,39	2,9	300	1,49	65	3800	32	12
43	Коридор	2,19	8,37	2,9	200	0,60	36	2200	32	6
44	Насосная	4,53	18,85	2,9	200	1,26	60	3800	32	8
46	Фильтрационная станция	7	21,53	2,9	200	1,82	70	3800	32	12
47	Раздевалка	3,12	12,95	2,9	300	0,87	52	3800	32	8
48	Раздевалка	3,23	13,97	2,9	300	0,90	53	3800	32	8
49	С/у	1	3,4	2,9	300	0,27	23	2000	18	2
50	Душ	1,42	5,22	2,9	300	0,38	26	2000	18	6
51	Раздевалка	3,83	12,65	2,9	300	1,01	57	3800	32	8
52	Душ	1,56	4,94	2,9	300	0,41	26	2000	18	6
53	Душ женский	1,22	7,23	2,9	300	0,36	25	2000	18	6
54	С/у женский	1,11	3,28	2,9	300	0,29	24	2000	18	4
55	С/у женский	0,82	4,42	2,9	300	0,24	23	2000	18	4

Продолжение таблицы 3

Поме- щение	Наименование помещения	a	b	h	E <sub>норм</sub>	i	Θ	Φ <sub>св</sub>	P	N
		м	м	м	Лк	–	–	Лм	Вт	
Помещения первого этажа										
56	Душ женский	1,25	7,06	2,9	300	0,37	26	2000	18	6
57	Раздевалка женская	3	12,98	2,9	300	0,84	51	3800	32	8
58	Душ мужской	1,44	3,01	2,9	300	0,34	26	2000	18	4
59	С/у женский	1	3,28	2,9	300	0,26	23	2000	18	2
60	Раздевалка женская	1,89	10,19	2,9	300	0,55	35	3800	32	6
61	Раздевалка мужская	2,94	6,53	2,9	300	0,70	45	3800	32	4
62	Спортзал	5,55	19,72	2,9	400	1,49	65	3800	32	20
63	Зона под пресс- центром	4,74	9,67	2,9	150	1,10	57	3800	32	4
64	Помещение инструкторов	1,78	9,59	2,9	300	0,52	30	3800	32	6
65	С/у	0,79	3,41	2,9	300	0,22	22	2000	18	2
66	Душ	0,61	1,62	2,9	300	0,15	20	3800	32	0
67	Помещение тренеров	1,97	8,53	2,9	300	0,55	35	3800	32	4
68	С/у	1,89	8,19	2,9	300	0,53	32	2000	18	8
69	Помещение хранения мототехники	2,25	4,86	2,9	300	0,53	32	3800	32	4
70	Коридор	5,09	12,81	2,9	200	1,26	60	2200	32	12
71	С/у мужской	1,96	5,62	2,9	300	0,50	29	2000	18	6
72	Гардероб инвалидов	0,95	3,23	2,9	300	0,25	23	3800	32	2
73	С/у мужской	1,71	4,57	2,9	300	0,43	27	2000	18	6
74	С/у женский	1,41	6,63	2,9	300	0,40	26	2000	18	6
75	Душ женский	3,59	8,49	2,9	300	0,87	52	2000	18	10
76	Помещение тренеров	2,23	4,82	2,9	300	0,53	30	3800	32	4
77	Лифтовый тамбур	1,3	2,89	2,9	200	0,31	25	3800	32	2
78	Лестничная клетка 5	2,06	4,71	2,9	200	0,49	29	810	9	10
80	Помещение заточки	1,49	4,71	2,9	300	0,39	25	3800	32	2
81	Прокат коньков	1,88	11,16	2,9	200	0,55	35	3800	32	4
82	С/у и душ инвалидов	1,63	6,5	2,9	300	0,45	28	2000	18	6
83	Медкабинет	3,03	8,4	2,9	300	0,77	50	3800	32	4
84	Вестибюль	7,48	25,63	2,9	400	2,00	74	3800	32	30
85	Гардероб	4,99	11,45	2,9	300	1,20	60	3800	32	8
86	Серверная	1,63	6,23	2,9	200	0,45	28	3800	32	2

Продолжение таблицы 3

Помещение	Наименование помещения	a	b	h	E <sub>норм</sub>	i	Θ	Φ <sub>св</sub>	P	N
		м	м	м	Лк	–	–	Лм	Вт	
Помещения первого этажа										
87	Подсобка	1,34	3,48	2,9	150	0,33	25	3800	32	2
88	Лифтовой тамбур	1,22	7,56	2,9	200	0,36	26	3800	32	2
89	Лестничная клетка 4	2,76	8,18	2,9	200	0,71	45	810	9	14
91	Холл	2,04	7,52	2,9	300	0,55	34	3800	32	4
92	Лестничная клетка 3	2,94	10,05	2,9	200	0,78	50	810	9	16
93	С/у	0,76	4,47	2,9	300	0,22	22	3800	32	2
94	Инвентарная	1,05	3,11	2,9	150	0,27	25	3800	32	2
96	Тепловой пункт	3,42	7,38	2,9	200	0,81	50	3800	32	4
97	Склад электроинструмента	1,85	5,68	2,9	200	0,48	29	3800	32	2
Помещения второго этажа										
01	Зал физподготовки	6,65	21,97	2,9	400	1,76	52	16000	140	8
02	Служебное помещение	3,18	6,86	2,9	200	0,75	49	3800	32	4
03	Лестничная клетка 1	2,98	6,44	2,9	200	0,70	46	810	9	12
04	Коридор	0,96	5,14	2,9	200	0,28	25	2200	32	2
05	Массажная и медпункт	2,99	9,18	2,9	400	0,78	50	3800	32	6
06	Зал бассейнов	16,21	55,55	2,9	800	4,33	69	16000	140	72
07	Склад инвентаря	1,45	5,54	2,9	200	0,40	27	3800	32	2
08	Мужская раздевалка	5,84	13,4	2,9	300	1,40	65	3800	32	10
09	Душ	1,84	7,95	2,9	300	0,52	29	2000	18	8
10	С/у мужской	1,92	3,9	2,9	300	0,44	27	2000	18	6
11	С/у и душ инвалидов	1,7	3,67	2,9	300	0,40	27	2000	18	4
12	Лестничная клетка 2	2,55	7,55	2,9	200	0,66	45	810	9	12
13	С/у и душ инвалидов	1,43	4,37	2,9	300	0,37	27	2000	18	4
14	С/у женский	1,4	5,35	2,9	300	0,38	27	2000	18	6
15	Женская раздевалка	4,24	15,64	2,9	300	1,15	59	3800	32	10
16	Душ	2,3	6,37	2,9	300	0,58	36	2000	18	8
17	Зал физподготовки	6,99	22,26	2,9	400	1,83	54	16000	140	8
18	Душ и С/у	1,48	4,1	2,9	300	0,37	27	2000	18	4

Продолжение таблицы 3

Поме- щение	Наименование помещения	a	b	h	E <sub>норм</sub>	i	Θ	Φ <sub>св</sub>	P	N
		м	м	м	Лк	–	–	Лм	Вт	
Помещения второго этажа										
19	Помещение обслуживающего персонала	1,56	3,37	2,9	100	0,37	27	3800	32	2
20	Помещение тренеров	2,64	9,37	2,9	300	0,71	45	3800	32	6
21	Помещение инструкторов	2,93	7,86	2,9	300	0,74	47	3800	32	4
22	Коридор	1,17	3,86	2,9	200	0,31	25	2200	32	2
23	Комната хранения инвентаря	1,14	7,07	2,9	150	0,34	25	3800	32	2
24	Комната хранения инвентаря	1,17	5,27	2,9	150	0,33	25	3800	32	2
Помещения третьего этажа										
01	Вытяжная камера вентиляции	5,12	18,89	2,9	150	1,39	64	3800	32	8
02	Лестничная клетка 1	2,45	7,5	2,9	150	0,64	40	810	9	10
03	Коридор	3,54	22,07	2,9	200	1,05	57	2200	32	14
05	Коридор	4,2	18,21	2,9	200	1,18	60	2200	32	14
06	Лестничная клетка 2	2,23	8,22	2,9	200	0,60	37	810	9	14
07	Вытяжная камера вентиляции	5,35	18,31	2,9	150	1,43	65	3800	32	8
08	Приточная камера вентиляции	2,51	11,84	2,9	150	0,71	47	3800	32	4
09	Приточная камера вентиляции	2,49	5,88	2,9	150	0,60	36	3800	32	2
10	Приточная камера вентиляции	3,91	15,6	2,9	150	1,08	57	3800	32	6
11	Предкамера	1,14	3,04	2,9	150	0,29	24	3800	32	2
12	Предкамера	1,62	4,79	2,9	150	0,42	27	3800	32	2
13	Приточная камера вентиляции	3,55	8,39	2,9	150	0,86	52	3800	32	2
14	Приточная камера вентиляции	5,39	11,31	2,9	150	1,26	60	3800	32	4
15	Приточная камера вентиляции	1,65	9,31	2,9	150	0,48	29	3800	32	2
16	Предкамера	1,68	4,79	2,9	150	0,43	28	3800	32	2
17	Предкамера	1,2	3,02	2,9	150	0,30	25	3800	32	2
18	С/у инвалидов	2,4	5,66	2,9	300	0,58	36	2000	18	6
19	С/у мужской	2,56	5,53	2,9	300	0,60	36	2000	18	6
20	С/у женский	2,04	6,73	2,9	300	0,54	34	2000	18	8
21	Загрузочная подъемника	0,96	4,68	2,9	200	0,27	24	3800	32	2

Продолжение таблицы 3

Помещение	Наименование помещения	a	b	h	E <sub>норм</sub>	i	Θ	Φ <sub>св</sub>	P	N
		м	м	м	Лк	–	–	Лм	Вт	
Помещения третьего этажа										
22	Бильярд	8,78	21,42	2,9	500	2,15	77	3800	32	36
23	Лестничная клетка 5	1,56	6,21	2,9	200	0,43	27	810	9	10
24	Кафе	3,09	13,97	2,9	400	0,87	52	3800	32	10
25	Лестничная клетка 3	2,48	9,16	2,9	200	0,67	45	810	9	14
26	Гольф	10,91	47,31	2,9	500	3,06	85	16000	14 0	22
27	Лестничная клетка 4	2,67	8,5	2,9	200	0,70	45	3800	32	4
28	Лифтовой тамбур	0,89	4,76	2,9	300	0,26	22	3800	32	2
30	Директорская	3,25	7,46	2,9	400	0,78	50	3800	32	6
31	Приемная	1,54	7,23	2,9	400	0,44	26	3800	32	6
32	Кабинет бухгалтеров	2,6	6,97	2,9	300	0,65	43	3800	32	4
33	Коридор	2,11	9,12	2,9	200	0,59	36	2200	32	6

Вывод по разделу.

Расчет освещения физкультурно-оздоровительного комплекса проведен в соответствии с условиями эксплуатации светильников, требованиями нормативно-расчетных документов. Соблюдение данных требований необходимо для безопасной работы персонала, безотказной и стабильной работы системы освещения.

В результате расчета было определено количество и тип светильников, активная мощность внутреннего освещения каждого помещения физкультурно-оздоровительного комплекса. Общая нагрузка внутреннего освещения (рабочего и аварийного) составила 38,08 кВт.

## 5 Выбор и расчет числа и мощности трансформаторов

В физкультурно-оздоровительном учреждении, согласно таблице 1, используются электроприемники различных категорий надежности электроснабжения. В целом, спортивный объект относится в большей степени к потребителям II категории надежности электроснабжения.

Электроснабжение физкультурно-оздоровительного комплекса осуществляется от внешних сетей электроснабжения напряжением 6кВ. Система заземления предприятия относится к типу TN-C-S [18].

В соответствии с вышесказанным, поскольку на объекте спортивной отрасли присутствуют электроприемники с I и II категориями надежности электроснабжения, то для питания физкультурно-оздоровительного комплекса предприятия выберем КТП с двумя трансформаторами.

Для выбора мощности трансформаторов необходимо провести соответствующие расчеты [19].

Полная мощность на один трансформатор:

$$S_{p.тр} = \frac{S_{p.гр.Σ}}{K_{з.тр} \cdot N_{тр}} \quad (9)$$
$$S_{p.тр} = \frac{652,73}{0,7 \cdot 2} = 466,24 \text{ кВА}$$

Ближайшим по мощности является трансформатор ТМГ630/6/0,4.

Для технико-экономического обоснования выбора двух трансформаторов ТМГ630/6/0,4 необходимо провести сравнение с двумя трансформаторами ТМГ1000/6/0,4 [20].

Технико-экономические данные трансформаторов приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Техничко-экономические данные сравниваемых трансформаторов

Параметры трансформатора	$P_{xx.T}$	$P_{kз.T}$	$U_{kз.T}$	$I_{xx.T}$	Стоимость
	Вт	Вт	%	%	руб/шт
ТМГ630/6/0,4	1040	7500	5,4	1,5	205 000
ТМГ1000/6/0,4	1540	10700	5,4	1,1	278 000

КТП может включать в себя трансформаторы мощностью 400-1000 кВА.

Число часов максимальных потерь за год работы трансформатора:

$$\delta_M = 8760 \cdot \left(0,124 + \frac{\sigma_{max}}{10000}\right)^2 \quad (10)$$

где « $\sigma_{max}$  – число часов использования максимума электрической нагрузки, ч» [12]. В нашем случае это 5300ч.

Годовые потери электроэнергии одного из двух трансформаторов:

$$\Delta W_{год.T} = \Delta P_{xx.T} \cdot T_T \cdot n_T + \Delta P_{kз.T} \cdot \left(\frac{S_{p.гр\Sigma}}{S_{н.тр}}\right)^2 \cdot \delta_M \cdot \frac{1}{n_T} \quad (11)$$

где  $T_T$  – количество рабочих часов трансформатора, ч/год.

Денежные издержки одного трансформатора:

$$I_{год.T} = \rho_{a.T} \cdot K_T + \left(\frac{\gamma}{\sigma_{max}} + \vartheta\right) \cdot \Delta W_{год.тр} \cdot 10^{-5} \quad (12)$$

где  $\rho_{a.T}$  – коэффициент амортизации;

$\gamma$  – стоимость 1 кВт мощности по договору;

$\vartheta$  – стоимость дополнительного кВт·ч по счетчику;

$K_T$  – стоимость трансформатора, тыс. руб.



Денежные затраты на приобретение трансформатора:

$$Z_T = p_{н.т} \cdot K_T + I_{год.т} \quad (13)$$

где « $p_{н.т}$  – показатель экономической эффективности» [12].

Результаты вычислений занесем в таблицу 5.

Таблица 5 – Техническое и экономическое сравнение вариантов

Параметр	Ед. изм.	ТМГ 630/6/0,4	ТМГ 1000/6/0,4
$K_{з.тр}$	–	0,52	0,33
$\delta_m$	ч/год	3862	3862
$\Delta W_{год.т}$	кВт·ч	18221	26981
$I_{год.т}$	тыс. руб	19,24	26,11
$p_{н.т} \cdot K_T$		24,60	33,36
$Z$		43,84	59,47

Вывод по разделу.

В ходе проведения технико-экономического обоснования были получены следующие результаты: комплектная подстанция с двумя трансформаторами ТМГ630/6/0,4 оказалась выгоднее 2КТП 1000/6/0,4 для электроснабжения физкультурно-оздоровительного комплекса.

Далее необходимо провести расчет токов короткого замыкания (ТКЗ).

## 6 Расчет токов короткого замыкания

«Мощность трехфазного короткого замыкания сети с  $S_c=500$  МВА,  $U_6=6,3$  кВ,  $S_6=1000$  МВА» [6].

Для проведения расчета ТКЗ необходимо воспользоваться расчетными формулами и методиками нормативно-технических документов, и требованиями ГОСТ. Расчет проведем в относительных единицах (о.е.). Расчетная схема и схема замещения представлены на рисунке 2 слева и справа соответственно. Ток от системы до КТП:

$$I_{c/тр} = \frac{S_{н.тр}}{\sqrt{3} \cdot U} \quad (14)$$
$$I_{c/тр} = \frac{630}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 58 \text{ А}$$

«Для электроснабжения физкультурно-оздоровительного комплекса проложим в траншее кабельную линию с поясной бумажной изоляцией (пропитанная вязким изоляционным составом) и алюминиевыми жилами» [14].

«Сечение по экономической плотности тока  $J_{эк}=1,1$  А/мм<sup>2</sup>» [11]:

$$S_{c/тр} = \frac{I_{c/тр}}{J_{эк}} \quad (15)$$
$$S_{c/тр} = \frac{58}{1,1} = 53 \text{ мм}^2$$

Ближайшим номинальным сечением является 25 мм<sup>2</sup>. Согласно ПУЭ, для ААБл 3х70-6 допустимый ток составляет 162 А. При аварийном отключении одного трансформатора кабель выдержит проходящий ток [11].

«Активное сопротивление кабеля  $r_{уд.1}=0,443$  Ом/км и индуктивное сопротивление кабеля  $x_{уд.1}=0,08$  Ом/км» [7]. Длина кабельной линии от точки питания до КТП равна  $l_{кл.1}=600$  м.

Активное и индуктивное сопротивление кабеля:

$$r_{\text{КЛ.1}} = r_{\text{уд.1}} \cdot l_{\text{КЛ.1}} \quad (16)$$

$$r_{\text{КЛ.1}} = 0,443 \cdot 0,6 = 0,27 \text{ Ом}$$

$$x_{\text{КЛ.1}} = x_{\text{уд.1}} \cdot l_{\text{КЛ.1}} \quad (17)$$

$$x_{\text{КЛ.1}} = 0,08 \cdot 0,6 = 0,048 \text{ Ом}$$

Сопротивление кабельной линии в о.е.:

$$x_{\text{КЛ.1б}} = x_{\text{КЛ.1}} \frac{S_б}{U_{\text{ВН}}^2} \quad (18)$$

$$x_{\text{КЛ.1б}} = 0,048 \cdot \frac{1000}{6,3^2} = 1,21 \text{ о.е.}$$

Сопротивление системы в о.е.:

$$x_{\text{с.б}} = \frac{S_б}{S_{\text{сист}}} \quad (19)$$

$$x_{\text{с.б}} = \frac{1000}{500} = 2 \text{ о.е.}$$

Сопротивление цепи от системы до точки К1:

$$x_{\text{рез.б}} = x_{\text{с.б}} + x_{\text{КЛ.1б}} \quad (20)$$

$$x_{\text{рез.б}} = 2,0 + 1,21 = 3,21 \text{ о.е.}$$

Базисный ток до точки К1:

$$I_б = \frac{1}{\sqrt{3} \cdot U_б} \cdot S_б \quad (21)$$

$$I_б = \frac{1}{\sqrt{3} \cdot 6,3} \cdot 1000 = 91,64 \text{ кА}$$

Начальное действующее значение периодической составляющей ТКЗ до точки К1:

$$I_{п.0} = \frac{E_6 \cdot I_6}{Z_{рез.6}} \quad (22)$$
$$I_{п.0} = \frac{1 \cdot 91,64}{3,21} = 28,45 \text{ кА}$$

Ударный ток в точке К1:

$$i_{уд.К1} = \sqrt{2} \cdot I_{п.0} \cdot K_{уд.К1} \quad (23)$$
$$i_{уд.К1} = \sqrt{2} \cdot 28,45 \cdot 1,4 = 56,33 \text{ кА}$$

В результате на стороне выше 1кВ в точке К1 получаем  $i_{уд.К1}=56,33$  кА.

Составим расчетную схему и схему замещения цепи с указанием точек КЗ (рисунок 2).

«Сопротивления катушек и контактов автоматических выключателей примем равными  $r_{кв}=1,1$  мОм,  $x_{кв}=0,5$  мОм. Активные и индуктивные сопротивления трансформаторов тока первого класса точности  $r_{ТА}=0,2$  мОм,  $x_{ТА}=0,3$  мОм. Активное сопротивление контактов  $r_k=0,1$  мОм» [2].

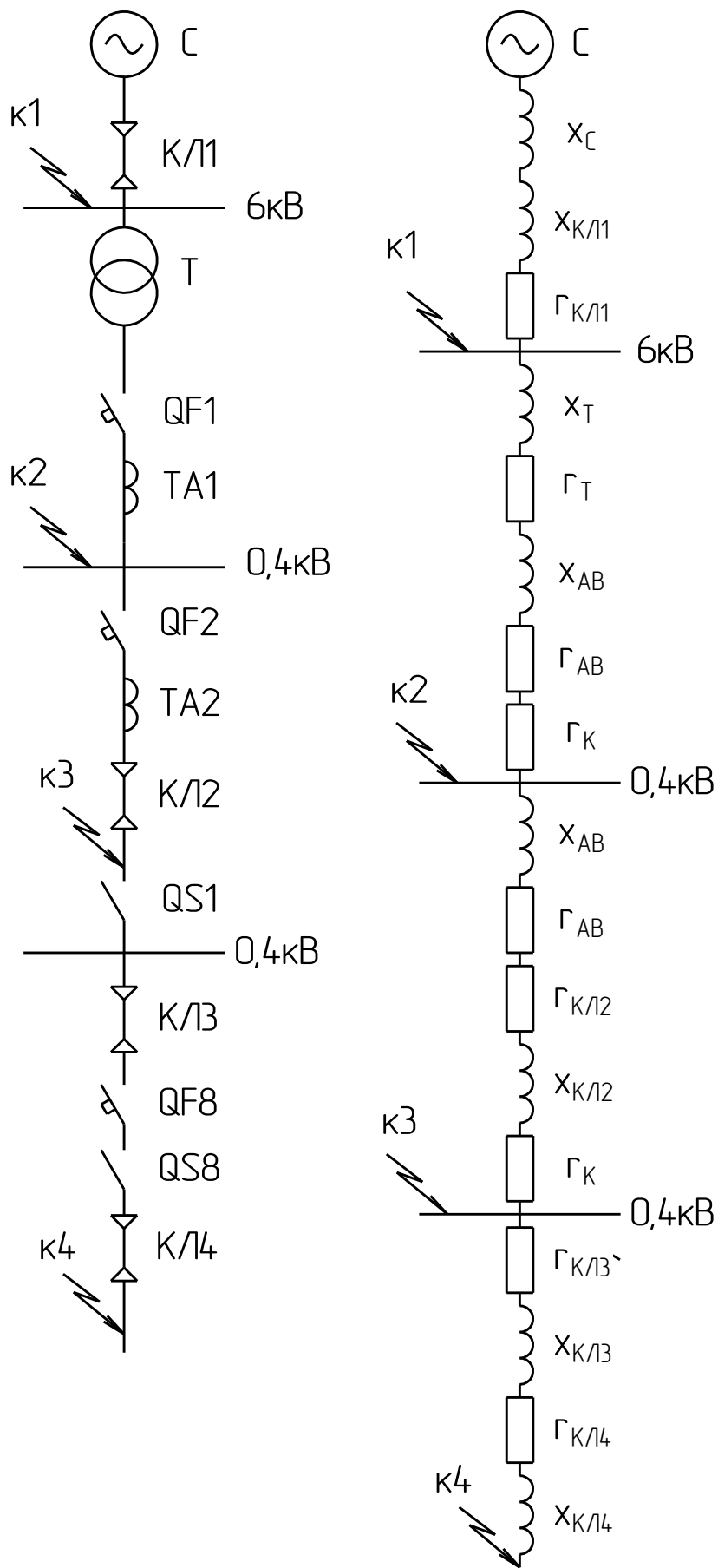


Рисунок 2 – Расчетная схема и схема замещения

Сопротивление системы для ступени НН:

$$X_{с.НН} = \frac{U_{НН}^2}{S_{сист}} \quad (24)$$

$$X_{с.НН} = \frac{400^2}{500} \cdot 10^{-3} = 0,32 \text{ мОм}$$

Формулы приведения сопротивлений К1 к именованным единицам:

$$r_{К.1} = r_{К.1} \cdot \frac{U_{ВН}^2}{S_6} \quad (25)$$

$$X_{К.1} = X_{К.1} \cdot \frac{U_{ВН}^2}{S_6} \quad (26)$$

В результате по формулам получаем, что для точки К1:  $r_{К.1}=0,13 \text{ мОм}$ ;  
 $X_{К.1}=0,011 \text{ мОм}$ .

Активное и индуктивное сопротивления ТМГ 630/6/0,4 [5]:

$$r_T = \frac{P_{кз.т} \cdot U_{НН}^2}{S_{н.тр}^2} \cdot 10^6 \quad (27)$$

$$r_T = \frac{7,5 \cdot 0,4^2}{630^2} \cdot 10^6 = 3,02 \text{ мОм}$$

$$X_T = \sqrt{U_{кз.т}^2 - \left(\frac{100 \cdot P_{кз.т}}{S_{н.тр}}\right)^2} \cdot \frac{U_{НН}^2}{S_{н.тр}} \cdot 10^4 \quad (28)$$

$$X_T = \sqrt{5,4^2 - \left(\frac{100 \cdot 7,5}{630}\right)^2} \cdot \frac{0,4^2}{630} \cdot 10^4 = 13,38 \text{ мОм}$$

Сопротивление цепи от системы до точки К2:

$$r_{рез.2} = r_{КЛ.1} + r_T + r_K + r_{КВ} + r_{ТТ} \quad (29)$$

$$X_{рез.2} = X_{КЛ.1} + X_T + X_{КВ} + X_{ТТ} + X_C \quad (30)$$

Получаем следующие значения сопротивлений цепи:  $r_{рез.2} = 4,18$  мОм,  
 $x_{рез.2} = 13,85$  мОм.

«Начальное действующее значение периодической составляющей трехфазного ТКЗ без учета подпитки от электродвигателей» [2]:

$$I_{п.0} = \frac{U_{ном}}{\sqrt{3 \cdot (r_{рез.2}^2 + x_{рез.2}^2)}} \quad (31)$$

$$I_{п.0} = \frac{400}{\sqrt{3 \cdot (4,18^2 + 13,85^2)}} = 4,13 \text{ кА}$$

«Угол сдвига по фазе напряжения (ЭДС источника) и периодической составляющей ТКЗ» [2]:

$$\psi = \arctg\left(\frac{x_{сумм2}}{r_{сумм2}}\right) \quad (32)$$

$$\psi = \arctg\left(\frac{13,85}{4,18}\right) = 1,28$$

«Время от начала КЗ до появления ударного тока» [2]:

$$\zeta = 0,01 \cdot \frac{\frac{\pi}{2} + \psi}{\pi} \quad (33)$$

$$\zeta = 0,01 \cdot \frac{\frac{3,14}{2} + 1,28}{3,14} = 9,07 \cdot 10^{-3} \text{ с}$$

«Постоянная времени затухания апериодической составляющей ТКЗ» [2]:

$$T_{а.к} = \frac{x_{рез.2}}{r_{рез.2} \cdot \omega} \quad (34)$$

$$T_{а.к} = \frac{13,85}{4,18 \cdot 314} = 10,55 \cdot 10^{-3} \text{ с}$$

«Ударный коэффициент» [2]:

$$K_{уд.к} = (1 + \sin\psi \cdot e^{\frac{-\zeta}{T_a}}) \quad (35)$$

$$K_{уд.к} = \left( 1 + \sin(1,28) \cdot 2,71^{\frac{-9,07 \cdot 10^{-3}}{10,55 \cdot 10^{-3}}} \right) = 1,41$$

Ударный ток по формуле 23:

$$i_{уд.к} = \sqrt{2} \cdot 9,21 \cdot 1,41 = 18,37 \text{ кА}$$

Расчет для точек К3 и К4 проводится аналогично, результаты которого приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Расчет трехфазных КЗ физкультурно-оздоровительного комплекса

Точка	Элемент цепи	х	г	$I_{п.0}$	$\psi$	$\zeta$	$K_{уд}$	$i_{уд.к}$
		МОм	МОм	кА	рад	$10^{-3}$ с	–	кА
К1	Система	2	–	–	–	–	–	–
	КЛ от системы до КТП	1,21	0,27	–	–	–	–	–
	Общее сопротивление	3,21	0,27	28,45	–	–	1,4	56,33
К2	Сопротивление К1 в Ом	0,127	0,011	–	–	–	–	–
	Силовой трансформатор	13,38	3,02	–	–	–	–	–
	КЛ от КТП до ВРУ	0,01	0,02	–	–	–	–	–
	Контакты	–	0,1	–	–	–	–	–
	Катушки выключателей	0,17	0,65	–	–	–	–	–
	Трансформаторы тока	0,17	0,11	–	–	–	–	–
	Общее сопротивление	13,85	4,18	9,21	1,28	9,07	1,41	18,37



Продолжение таблицы 6

Точка	Элемент цепи	x	r	Ип.0	$\psi$	$\zeta$	Куд	iуд.К
		МОм	МОм	кА	рад	$10^{-3}$ с	–	кА
К3	КЛ от ВРУ до ЩС	3,08	5,2	–	–	–	–	–
	Контакты	–	0,1	–	–	–	–	–
	Катушки выключателей	0,5	1,1	–	–	–	–	–
	Трансформаторы тока	0,67	0,32	–	–	–	–	–
	Общее сопротивление	18,10	10,90	6,31	1,03	8,28	1,18	10,53
К4	КЛ от ЩС до ЭП	4,62	7,8	–	–	–	–	–
	Контакты	–	0,1	–	–	–	–	–
	Катушки выключателей	0,7	1,3	–	–	–	–	–
	Трансформаторы тока	1,2	0,75	–	–	–	–	–
	Общее сопротивление	24,62	20,85	4,13	0,87	7,77	1,1	6,42

Вывод по разделу.

При расчете коротких замыканий было взято четыре точки: одна точка на стороне выше 1000 В, другие три – на стороне ниже 1000 В. Чем дальше точка возникновения КЗ, тем меньше ударный ток и начальное действующее значение периодической составляющей.

Данные результаты необходимы для выбора оборудования КТП.

## 7 Выбор основного оборудования и его проверка

Чтобы проверить оборудование 2КТП 630/10(6)0,4 [9] сделаем расчет термической и электродинамической стойкостей.

Ток термической стойкости точки К2:

$$B_K = I_{п.0}^2 (T_a + t_{п.в}) \quad (36)$$
$$B_K = 9,21^2 \cdot (10,55 + 30) \cdot 10^{-3} = 3,44 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$$

Рассчитаем время действия релейной защиты:

$$\gamma = t_{рз} + t_{сво} \quad (37)$$
$$\gamma = 0,01 + 0,04 = 0,05 \text{ с}$$

где  $t_{рз}$  – время срабатывания релейной защиты с;

$t_{сво}$  – время срабатывания выключателя на отключение, с» [16].

Максимальное значение апериодической составляющей ТКЗ» [16]:

$$i_{a,\gamma} = \sqrt{2} \cdot I_{п.0} \cdot e^{\frac{-\gamma}{T_a}} \quad (38)$$
$$i_{a,\gamma} = \sqrt{2} \cdot 9,21 \cdot 2,72^{\frac{-0,05}{10,55}} = 12,96 \text{ кА}$$

Номинальное значение апериодической составляющей» [16]:

$$i_{a,n} = \sqrt{2} \cdot I_{\delta} \cdot (1 + e^{-22,5 \cdot \gamma}) \quad (39)$$
$$i_{a,n} = \sqrt{2} \cdot 20 \cdot (1 + 2,72^{-22,5 \cdot 0,05}) = 37,46 \text{ кА}$$

где  $I_{\delta}$  – ток отключения выключателя, кА.

Проверочные расчеты электрооборудования КТП представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Проверка параметров

Расчетный параметр	Сравниваемый параметр	Автоматический выключатель	Трансформатор тока	Разъединитель
$I_{\max}=942 \text{ А}$	$I_{\text{раб}}$	1000 А	1000 А	1000 А
$I_{п.0}=4,13 \text{ кА}$	$I_{\delta}$	20 кА	–	–
$i_{\alpha\gamma}=12,96 \text{ кА}$	$i_{\text{а.н}}$	37,46 кА	–	–
$i_{\text{уд.к}}=18,37 \text{ кА}$	$i_{\text{пр.с}}$	50 кА	15 кА	15 кА
$В_{\text{к}}=3,44 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$В_{\text{к.ном}}$	$20 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$20 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$20 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

Далее выберем кабели для физкультурно-оздоровительного комплекса.

На стороне 6 кВ принимаем кабель марки ААБл 4х70-6. Кабель имеет следующую конструкцию:

- «жила – алюминиевая.
- оболочка – алюминиевая.
- броня из стальных лент» [7].

От КТП до ВРУ проложены от каждой секции по три кабеля АПвБШп(А) 5х240, которые имеют следующую конструкцию:

- «А – Алюминиевая токопроводящая жила
- Пв – Изоляция жил из сшитого полиэтилена
- Б – броня из двух стальных оцинкованных лент
- Шп – защитный шланг из сшитого полиэтилена» [8].

Для соблюдения требований пожаробезопасности выберем кабели для прокладки в помещениях типа ВВГнг(А)-FRLS [3].

«Выбор кабелей распределительной сети представлен на чертеже» [4].

«Автоматические выключатели выбираем исходя из сечений кабелей» [1].

Для выбора аппаратов защиты электродвигателей, представленных в таблице 8, необходимо провести соответствующие расчеты. Проведем расчет токов и результаты занесем в таблицу 9.

Таблица 8 – Технические данные используемых электродвигателей распределенных по щитам

Щит	Назначение	Наименование двигателя	Р, кВт	КПД, %	cosφ	$\frac{I_{пуск}}{I_{ном}}$
ЩВ1	Приточная вентиляция	АИР100L2	5,5	88	0,89	7,5
	Вытяжная вентиляция	АИР90L4	2,2	81	0,83	6,5
	Заслонка вентиляция	АИР80А4	1,1	75	0,81	5,5
ЩС1	Сетевой насос	АИР100L2	5,5	88	0,89	7,5
	Привод задвижки	АИР100S4	3	82	0,83	7
	Центробежный насос	АИР90L2	3	84,5	0,88	7
ЩВП	Центробежный насос	АИР100L2	5,5	88	0,89	7,5
	Фильтр	АИР100А2	1,5	78	0,83	5,5
ЩВ2	Общеобменная	АИР132М2	11	88	0,9	7,5
ЩС2	Центробежный насос	АИР100S2	4	87	0,88	7,5
	Осевой насос	АИР71А4	0,55	70,5	0,7	5
	Центробежный насос	АИР71А4	0,55	70,5	0,7	5
ШВО	Адсорбционные	АИР100L2	5,5	88	0,89	7,5
	Конденсационные	АИР100S2	4	87	0,88	7,5
	Поддерживающие	АИР71В4	0,75	73	0,76	5
ШЛ	Пассажирский	АИР112А4	7,5	87,5	0,88	7,5
	Грузовой	АИР71А4	0,55	70,5	0,7	5
ШПТ1	Компрессор	АИР90L2	3	84,5	0,88	7
ЩК	Компрессорно-конденсаторные блоки	АИР160S4	15	90	0,89	7
	Конденсатор	АИР112М2	7,5	87,5	0,88	7,5
	Испаритель	АИР90L4	2,2	81	0,83	6,5
ШПТ2	Насос подачи воды	АИР100S2	4	87	0,88	7,5

Таблица 9 – Расчет токов приводов электрооборудования

Щит	Наименование ЭО и тип двигателя	Справочные данные				Расчетные величины			
		$P_n$ , кВт	$\eta$ , %	$\cos\varphi$	$K_p$	$I_{ном}$	$I_{пуск}$	$I_{пик}$	$I_p$
ШВО	АИР100L2	5,5	88	0,89	7,5	10,1	75,7		
	АИР100S4	4	87	0,88	7,5	7,5	56,3		
	АИР71В4	0,75	73	0,776	5	1,9	9,7	84,1	19,5
ШЛ	АИР112А4	7,5	87,5	0,88	7,5	14	105		
	АИР71А4	0,55	70,5	0,7	5	1,6	8	106,6	15,6
ЩВ1	АИР100L2	5,5	88	0,89	7,5	10,1	75,7		
	АИР90L4	2,2	81	0,83	6,5	4,7	30,5		
	АИР80А4	1,1	75	0,81	5,5	2,6	14,3	83	17,4
ЩС1	АИР100L2	5,5	88	0,89	7,5	10,1	75,7		
	АИР100S4	3	82	0,83	7	6,4	44,8		
	АИР90L2	3	84,5	0,88	7	5,8	40,6	87,9	22,3
ЩВП	АИР100L2	5,5	88	0,89	7,5	10,1	75,7		
	АИР100А2	1,5	78	0,83	5,5	3,3	18,2	79	13,4
ЩВ2	АИР132М2	11	88	0,9	7,5	20	150	150	20
ЩС2	АИР100S2	4	87	0,88	7,5	7,5	56,3		
	АИР71А4	0,55	70,5	0,7	5	1,6	8		
	АИР71А4	0,55	70,5	0,7	5	1,6	8	59,5	10,7
ШПТ1	АИР90L2	3	84,5	0,88	7	5,8	40,6	40,6	5,8
ШПТ2	АИР90L2	4	87	0,88	7,5	7,5	56,3	56,3	7,5
ЩК	АИР160S4	15	90	0,89	7	27	189		
	АИР112М2	7,5	87,5	0,88	7,5	14	105		
	АИР90L4	2,2	81	0,83	6,5	4,7	30,5	207,7	45,7

Вывод по разделу.

Выбрано оборудование КТП для обеспечения надежного и бесперебойного электроснабжения, рассчитаны сечения кабелей распределительной сети, а также выбраны на низкой стороне автоматические выключатели для защиты кабельных этих линий.

## 8 Выбор устройств релейной защиты и автоматики

Произведем расчет и выбор аппаратуры управления и защиты для насоса водоподготовки.

На примере данного типа насоса выбираем предохранитель для каждого двигателя М1, М2, М3. Он выбирается по условию ток номинальный предохранителя должен быть больше или равен номинальному току двигателя.

Предохранитель выбирается по двум условиям:

- номинальный ток плавкой вставки больше или равен номинальному току двигателя  $I_{пл.в} \geq I_n$ ;
- номинальный ток плавкой вставки больше или равен пиковому току, деленному на коэффициент кратковременной тепловой перегрузки  $I_{пл.в} \geq I_{пуск}/\alpha$ .

Так как условия пуска легкие принимаем  $\alpha=2,5$ .

Выбираем предохранитель для электродвигателя М1 главного движения согласно двум вышесказанным условиям:

$$I_{пл.в} \geq 10,1 \text{ А}$$

$$I_{пл.в} \geq 75,6 \text{ А}$$

Из двух приведенных условий наиболее приемлемо большее значение тока плавкой вставки предохранителя, так как это удовлетворяет условиям пуска электродвигателя. Следовательно, выбираем предохранители сер. ПН2-100/80.

Выбираем предохранитель для электродвигателя М2 насоса охлаждения согласно двум вышесказанным условиям:

$$I_{пл.в} \geq 14 \text{ А}$$

$$I_{пл.в} \geq 42 \text{ А}$$

Из двух приведенных условий наиболее приемлемо большее значение тока плавкой вставки предохранителя, так как это удовлетворяет условиям

пуска электродвигателя. Следовательно, выбираем предохранители сер. ПН2-100/50.

Выбираем предохранитель для электродвигателя М3 гидронасоса согласно двум вышесказанным условиям:

$$I_{п.л.в} \geq 4,7 \text{ А}$$

$$I_{п.л.в} \geq 12,2 \text{ А}$$

Из двух приведенных условий наиболее приемлемо большее значение тока плавкой вставки предохранителя, так как это удовлетворяет условиям пуска электродвигателя. Следовательно, выбираем предохранители сер. НПН2-63/16.

Для остального оборудования сводим все в таблицу 10.

Таблица 10 – Технические параметры предохранителей

Общие сведения электропривода			Данные предохранителя		
Маркировка	$I_{ном}, \text{ А}$	$I_{пуск/\alpha}$	$I_{н.пр}, \text{ А}$	$I_{н.пл.вст}, \text{ А}$	Тип
ЩВ1	10,1	30,28	100	31,5	ПН2-100/31,5
	4,7	12,2	60	16	НПН2-63/16
	2,6	5,72	60	6	НПН2-63/6
ЩС1	10,1	30,28	100	31,5	ПН2-100/31,5
	6,4	17,92	60	20	НПН2-63/20
	5,8	16,24	60	20	НПН2-63/20
ЩВП	10,1	30,28	100	31,5	ПН2-100/31,5
	3,3	7,28	60	10	НПН2-63/10
ЩВ2	20	75	100	80	ПН2-100/80
ЩС2	7,5	22,52	60	25	НПН2-63/25
	1,6	3,2	60	6	НПН2-63/6
	1,6	3,2	60	6	НПН2-63/6
ШВО	10,1	30,28	100	31,5	ПН2-100/31,5
	7,5	22,52	60	25	НПН2-63/25
	1,9	3,88	60	6	НПН2-63/6
ШЛ	14	42	100	50	ПН2-100/50
	1,6	3,2	60	6	НПН2-63/6
ШПТ1	5,8	2,9	60	6	НПН2-63/6

Продолжение таблицы 10

Общие сведения электропривода			Данные предохранителя		
Маркировка	$I_{ном}, A$	$I_{пуск/\alpha}$	$I_{н.пр}, A$	$I_{н.пл.вст}, A$	Тип
ЩК	27	75,6	100	80	ПН2-100/80
	14	42	100	50	ПН2-100/50
	4,7	12,24	60	16	НПН2-63/16
ШПТ2	7,5	22,52	60	25	НПН2-63/25

Для насоса выбираем магнитный пускатель. Он выбирается по условию ток номинальный пускателя должен быть больше или равен номинальному току двигателя:

$$I_{ном.м.п.} \geq I_n, \quad (40)$$

Выбираем магнитный пускатель для электродвигателя М1:

$$I_{ном.м.п.} \geq 27 A$$

Выбираем магнитный пускатель марки ПМЛ-3000 с  $I_{ном.м.п.}=40 A$ .

Выбираем магнитный пускатель для электродвигателя М2:

$$I_{ном.м.п.} \geq 14 A$$

Выбираем магнитный пускатель марки ПМЛ-2000 с  $I_{ном.м.п.}=25 A$ .

Выбираем магнитный пускатель для электродвигателя М3:

$$I_{ном.м.п.} \geq 4,7 A$$

Выбираем магнитный пускатель марки ПМЛ-1000 с  $I_{ном.м.п.}=10 A$ .

Для остального оборудования сводим все в таблицу 11.

Выбор теплового реле производится по току номинальному электродвигателя по условию:

$$I_{ном.т.р.} \geq I_n, \quad (41)$$

Выбираем тепловое реле для электродвигателя М1:

$$I_{ном.т.р.} \geq 27 A$$



Выбираем тепловое реле сер. РТЛ-2053 с током уставки  $I_{уст} = 28 \text{ А}$ .

Выбираем тепловое реле для электродвигателя М2:

$$I_{ном.т.р.} \geq 14 \text{ А}$$

Выбираем тепловое реле сер. РТЛ-1021 с током уставки  $I_{уст} = 15 \text{ А}$ .

Выбираем тепловое реле для электродвигателя М3:

$$I_{ном.т.р.} \geq 4,7 \text{ А}$$

Выбираем тепловое реле сер. РТЛ-1010 с током уставки  $I_{уст} = 5 \text{ А}$ .

Для остального оборудования сводим все в таблицу 11.

Таблица 11 – Технические параметры магнитных пускателей и тепловых реле

Общие данные оборудования		Пускатель магнитный		Тепловое реле		
Маркировка	И <sub>н</sub> , А	Тип	И <sub>н</sub> , А	Тип	И <sub>н</sub> , А	И <sub>уст</sub> , А
ЩВ2	20	ПМЛ-2000	25	РТЛ-1022	25	20
ЩС2	7,5	ПМЛ-1000	10	РТЛ-1012	10	8
	1,6	ПМЛ-1000	10	РТЛ-1007	10	2
	1,6	ПМЛ-1000	10	РТЛ-1007	10	2
ЩВ1	10,1	ПМЛ-2000	25	РТЛ-1016	25	10,5
	4,7	ПМЛ-1000	10	РТЛ-1010	10	5
	2,6	ПМЛ-1000	10	РТЛ-1008	10	3
ЩС1	10,1	ПМЛ-2000	25	РТЛ-1016	25	10,5
	6,4	ПМЛ-1000	10	РТЛ-1012	10	7
	5,8	ПМЛ-1000	10	РТЛ-1010	10	6
ЩВП	10,1	ПМЛ-2000	25	РТЛ-1016	25	10,5
	3,3	ПМЛ-2000	10	РТЛ-1008	10	4
ШВО	10,1	ПМЛ-2000	25	РТЛ-1016	25	10,5
	7,5	ПМЛ-1000	10	РТЛ-1012	10	8
	1,9	ПМЛ-1000	10	РТЛ-1007	10	2
ШЛ	14	ПМЛ-2000	25	РТЛ-1021	25	15
	1,6	ПМЛ-1000	10	РТЛ-1007	10	1,7
ШПТ1	5,8	ПМЛ-1000	10	РТЛ-1012	10	6
ЩК	27	ПМЛ-3000	40	РТЛ-1053	40	28
	14	ПМЛ-2000	25	РТЛ-1021	25	15
	4,7	ПМЛ-1000	10	РТЛ-1010	10	5
ШПТ2	7,5	ПМЛ-1000	10	РТЛ-1014	10	8

Для защиты электроприводов выберем автоматические выключатели.

Для примера рассчитаем для насоса.

Номинальные токи  $I_{\text{ном. АВ}}$ , А, и его расцепителя  $I_{\text{ном. р.}}$ , А, выбираются по следующим условиям:

$$I_{\text{ном. АВ}} \geq I_{\text{р}}, \quad (42)$$

$$I_{\text{ном. АВ}} \geq 45,7 \text{ А}$$

$$I_{\text{ном. р.}} \geq I_{\text{р}}, \quad (43)$$

$$I_{\text{ном. р.}} \geq 45,7 \text{ А}$$

где  $I_{\text{р}}$  – номинальный ток, защищаемого ЭП, А.

Ток отсечки электромагнитного или комбинированного расцепителя  $I_{\text{ср. р.}}$ , А, проверяется по условию

$$I_{\text{ср. р.}} \geq 1,25 \cdot I_{\text{пик}} \quad (44)$$

$$I_{\text{ср. р.}} \geq 1,25 \cdot 207,7 \geq 259,61 \text{ А}$$

Расчетное значение кратности тока отсечки  $K_{\text{т. о.}}$  может быть найдено по формуле:

$$K_{\text{т. о.}} = \frac{1,25 \cdot I_{\text{пик}}}{I_{\text{ном. р.}}}, \quad (45)$$

$$K_{\text{т. о.}} = \frac{259,61}{50} = 5,2.$$

Коэффициент отсечки стандартный принимаем равный 7.

Выбираем автоматический выключатель ВА 51-31.

Таким же образом выбираем автоматические выключатели для остальных электроприводов и сводим в таблицу 12.

Таблица 12 – Выбор автоматических выключателей

№ ЭП на плане	Данные ЭП		Паспортные данные выключателя				Тип выключателя
	$I_{н.эп},$ А	$1,25I_{пик},$ А	$I_{ном},$ А	$I_{ном.расц},$ А	$K_{отс.расч}$	$K_{отс.ст.}$	
ЩВ1	17,4	103,75	25	20	5,2	7	ВА 51-25
ЩС1	22,3	109,87	25	25	4,4	7	ВА 51-25
ЩВП	13,4	98,75	25	16	6,2	7	ВА 51-25
ЩВ2	20	187,5	25	20	9,4	10	ВА 51-25
ЩС2	10,7	74,37	25	12,5	5,9	7	ВА 51-25
ШВО	19,5	105,12	25	20	5,3	7	ВА 51-25
ШЛ	15,6	133,25	25	16	8,3	10	ВА 51-25
ШПТ1	5,8	50,75	25	6,3	8	10	ВА 51-25
ЩК	45,7	259,61	100	50	5,2	7	ВА 51-31
ШПТ2	7,5	70,37	25	8	8,7	10	ВА 51-25

Вывод по разделу.

В ходе проектирования защиты оборудования физкультурно-оздоровительного комплекса были рассчитаны автоматические выключатели, предохранители, магнитные пускатели и тепловые реле.

## 9 Расчет контура заземления

«PEN и PE-проводники многожильных кабелей питающей и распределительной сети являются защитными проводниками.

В КТП установить контур защитного заземления из металлической полосы 25x4 на высоте 0,4...0,6м от уровня пола» [21].

Рассчитаем заземление по общеизвестным формулам.

Сопротивление вертикально расположенного заземлителя:

$$R_{в.з} = \frac{\rho_{э.г}}{2\pi L_{в.з}} \left( \ln \frac{2L_{в.з}}{d_{в.з}} + 0,5 \cdot \ln \frac{4 \cdot T_{в.з} + L_{в.з}}{4 \cdot T_{в.з} - L_{в.з}} \right) \quad (46)$$
$$R_{в.з} = \frac{95}{2 \cdot 3,14 \cdot 2,9} \left( \ln \frac{2 \cdot 2,9}{0,017} + 0,5 \ln \frac{8 + 2,9}{8 - 2,9} \right) = 33,4 \text{ Ом}$$

где  $\rho_{э.г}$  – величина удельного сопротивления земли, Ом · м;

$L_{в.з}$  –длина вертикально расположенного заземлителя, м;

$d_{в.з}$  –диаметр вертикально расположенного заземлителя, м;

$T_{в.з}$  –заглубление, м.

Сопротивление горизонтально расположенного заземлителя:

$$R_{г.з} = \frac{\rho_{э.г}}{2 \cdot \pi \cdot L_{г.з}} \cdot \ln \frac{2L_{г.з}^2}{b_{г.з} \cdot h_{г.з}} \quad (47)$$
$$R_{г.з} = \frac{95}{2\pi \cdot 19,7} \cdot \ln \frac{2 \cdot 19,7^2}{0,06 \cdot 0,4} = 7,97 \text{ Ом}$$

где  $b_{г.з}$  –ширина горизонтально расположенного заземлителя, м;

$h_{г.з}$  –заглубление горизонтальных заземлителей, м;

$L_{г.з}$  –длина горизонтально расположенного заземлителя, м.

Полное сопротивление заземляющего устройства:

$$R_{з.у} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{\frac{k_{ni}n_i}{R_i}} \quad (48)$$

$$R_{з.у} = \frac{1}{\frac{25 \cdot 0,68}{33,4} + \frac{1 \cdot 0,68}{7,97}} = 1,68 \text{ Ом}$$

где  $n_i$  – число комплектов;

$k_{ni}$  – коэффициент использования.

«Сопротивление заземляющего устройства является допустимым, поскольку полученное значение составляет менее 4 Ом» [11].

«Тип системы заземления на вводе в здание – TN-C-S, а в распределительных и групповых сетях – TN-S» [11].

«Данные системы заземления построены с применением глухозаземленной нейтрали. Характеризуются подключением нулевого проводника (N) к контуру заземления. При этом первый тип, на вводе в здания, характеризуется объединением защитного проводника PE и нулевого N в один комбинированный нуль (PEN) с подстанции, подключенного к глухозаземленной нейтрали. На входе в здание PEN проводник разделяется на N и PE проводники. Система заземления в распределительных и групповых сетях является более безопасной, имеет разделенные защитные проводники PE и нулевые N» [11].

«Токоведущие части электроустановки не должны быть доступны для случайного прикосновения, а доступные прикосновению открытые и сторонние проводящие части не должны находиться под напряжением, представляющим опасность поражения электрическим током как в нормальном режиме работы электроустановки, так и при повреждении изоляции.

Основная система уравнивания потенциалов в электроустановках до 1 кВ должна соединять между собой следующие проводящие части:

- нулевой защитный РЕ- или PEN-проводник питающей линии в системе TN;
- заземляющий проводник, присоединенный к заземляющему устройству электроустановки, в системах IT и TT;
- заземляющий проводник, присоединенный к заземлителю повторного заземления на вводе в здание (если есть заземлитель);
- металлические трубы коммуникаций, входящих в здание: горячего и холодного водоснабжения, канализации, отопления, газоснабжения и т.п.» [11].

В физкультурно-оздоровительном комплексе отсутствуют места прохождения тока в местах с повышенной влажностью, поэтому дополнительная система уравнивания потенциалов не предусмотрена.

«Для соединения с основной системой уравнивания потенциалов все указанные части должны быть присоединены к главной заземляющей шине (1.7.119-1.7.120) при помощи проводников системы уравнивания потенциалов» [11].

«Здание относится к обычным объектам по опасности ударов молнии для самого объекта и его окружения (к III категории по устройству молниезащиты). Кровля здания выполнена плоской. В качестве молниеприемника применяется молниеприемная сетка из полосовой стали 25x4, которая располагается на кровле. Молниеприемная сетка укладывается под слоем утеплителя(несгораемого) и гидроизоляции. Шаг ячеек сетки не должен превышать 10x10м. Узлы стальной сетки соединяются посредством сварки. Полосы сетки проходят по краю крыши» [13].

Вывод по разделу.

Рассчитанное заземляющее устройство удовлетворяет требованиям ПУЭ. Молниезащита физкультурно-оздоровительного комплекса выполнена с соблюдением требований нормативных документов и правил.

## Заключение

В работе была спроектирована система электроснабжения физкультурно-оздоровительного комплекса.

Исходными данными являлись:

- нагрузки электроприемников физкультурно-оздоровительного комплекса;
- план общественного здания.

На основании исходных данных были рассчитаны суммарные нагрузки, которое позволили определить какие необходимы трансформаторы для электроснабжения спортивного объекта. В результате расчета электрических нагрузок полная мощность электроприемников общественного здания составила 838,43 кВА.

На основании технико-экономического анализа были выбраны два трансформатора ТМГ630/6/0,4, которые используются в составе 2КТП 630/10(6)0,4. В данном готовом решении уже предусмотрено всё необходимое оборудование, а также исключаются работы по монтажу, что позволяет снизить экономические затраты.

Расчет ТКЗ был проведен для четырех точек. На стороне 6 кВ значение периодической составляющей составило 28,45 кА, а ударный ток - 56,33 кА. На стороне 0,4 кВ, наибольшее значение начального действующего значения периодической составляющей составило 9,21 кА, а наибольший ударный ток стороны НН - 18,37 кА. По мере удаления точки КЗ снижались ударные токи и их начальная периодическая составляющая.

На основании расчета ТКЗ было проверено оборудование, предусмотренное в КТП. Оборудование прошло проверку на термическую и электродинамическую стойкость. Далее, на стороне НН были выбраны вводные кабели и устройства релейной защиты и автоматики.

Заключительным пунктом проводился расчет заземления и молниезащиты физкультурно-оздоровительного комплекса.

## Список используемых источников

1. Выбор автомата по мощности нагрузки, сечению кабеля и по току: принципы и формулы для расчетов [Электронный ресурс]: Интернет-сайт. URL: <https://sovet-ingenera.com/elektrika/uzo-schet/vybor-avtomata-po-moshhnosti-nagruzki.html> (дата обращения: 15.09.2022).

2. ГОСТ 28249-93. Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением ниже 1 кВ [Электронный ресурс]: утв. приказом от 21.10.1993. URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-28249-93> (дата обращения: 19.08.2022).

3. ГОСТ 31565-2012. Кабельные изделия. Требования пожарной безопасности [Электронный ресурс] : Межгосударственный стандарт утв. приказом №1097-ст от 22.11.2012. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200101754> (дата обращения: 15.09.2022).

4. ГОСТ Р 50571.5.52-2011. Электроустановки низковольтные. Часть 5-52. Выбор и монтаж электрооборудования. Электропроводки [Электронный ресурс] : Национальный стандарт РФ утв. и введен в действие Приказом Росстандарта от 13.12.2011 N 925-ст. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200092622> (дата обращения: 15.09.2022).

5. ГОСТ Р 52719-2007. Трансформаторы силовые. Общие технические условия [Электронный ресурс]: Национальный стандарт РФ утв. приказом №60-ст от 09.04.2007. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200050072> (дата обращения: 15.09.2022).

6. ГОСТ Р 52735-2007. Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением выше 1 кВ [Электронный ресурс]: утв. Приказом №173-ст от 12.12.20073. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200052838> (дата обращения: 15.09.2022).

7. Кабель ААБл [Электронный ресурс] : Официальный сайт поставщика кабельной продукции Кабель.РФ. URL: <https://cable.ru/cable/> (дата обращения: 15.09.2022).



8. Кабель АПвБШп [Электронный ресурс] : Официальный сайт ЭлектроКомплект-Сервис. URL: <https://e-кс.ru/> (дата обращения: 15.09.2022).

9. Комплектные трансформаторные подстанции [Электронный ресурс] : Официальный сайт группы компаний «СвердловЭлектро». URL: <https://svel.ru/catalog/komplektnye-transformatornye-podstantsii/> (дата обращения: 15.09.2022).

10. Почему нужно компенсировать реактивную мощность [Электронный ресурс]: Официальный сайт дистрибьютера электротехнической продукции ГК "Развитие". URL: <http://verdit.ru/finansing/5666-2012-01-18-04-37-19.html> (дата обращения: 15.09.2022).

11. Правила устройства электроустановок. 7-е издание / Ред. Л.Л. Жданова, Н. В. Ольшанская. М.: НЦ ЭНАС, 2013. 104 с.

12. РД 34.20.185-94. Инструкция по проектированию городских электрических сетей [Электронный ресурс]: Руководящий документ утв. приказом №213 от 07.07.1994. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200004921> (дата обращения: 15.09.2022).

13. СО 153-34.21.122-2003. Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций [Электронный ресурс]: Инструкция утв. приказом №280 от 30.06.2003. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200034368> (дата обращения: 15.09.2022).

14. СП 118.13330.2012. Общественные здания и сооружения [Электронный ресурс] : Свод правил утв. Приказом Минрегиона России от 29.12.2011 N 635/10) (ред. от 19.12.2019). URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200092705> (дата обращения: 15.09.2022).

15. СП 31-110-2003 Проектирование и монтаж электроустановок жилых и общественных зданий [Электронный ресурс] : Свод правил по проектированию и строительству утв. приказом №194 от 26.10.2013. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200035252> (дата обращения: 15.09.2022).

16. Требования к релейной защите [Электронный ресурс]: интернет-сайт. URL: <https://pue8.ru/relejnaya-zashchita/238-trebovaniya-k-relejnoj-zashchite.html> (дата обращения: 15.09.2022).

17. Shabdin N.H., Padfield R. Sustainable Energy Transition, Gender and Modernisation in Rural Sarawak. Chemical Engineering Transactions vol.56, 2017. p.259-264.

18. Donoso P., Schurch R., Ardila J., Orellana L. Analysis of Partial Discharges in Electrical Tree Growth Under Very Low Frequency (VLF) Excitation Through Pulse Sequence and Nonlinear Time Series Analysis. IEEE Access Vol. 8. 2020. p.673-684.

19. Benthous M. A coupled technological-sociological model for national electrical energy supply systems including sustainability. Energy, Sustainability and Society Vol. 9, №1. 2019. p.1-16.

20. Escrivá-Escrivá G., Roldán-Blay C., Roldán-Porta C., Serrano-Guerrero X. Occasional Energy Reviews from an External Expert Help to Reduce Building Energy Consumption at a Reduced Cost. Energies Vol. 12, №15. 2019. 14 p.

21. Xiao Han, Jing Qiu, Lingling Sun, Wei Shen, Yuan Ma, Dong Yuan. Low- carbon energy policy analysis based on power energy system modeling. Energy Conversion and Economics. Energy Conversion and Economics. 2020. p.34-44.