

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 Разработка проектных решений по электроснабжению физкультурно-оздоровительного комплекса

Студент

А.С. Горожанкин

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент С.В. Шаповалов

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

Консультант

к.п.н., доцент А.В. Кириллова

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

Тольятти 2020

АННОТАЦИЯ

В данной выпускной квалификационной работе рассмотрена тема разработка проектных решений по электроснабжению физкультурно-оздоровительного комплекса.

Работа включает в себя проектирование и расчет системы рабочего и аварийного освещения. Выбор производителей и поставщиков электрооборудования. Также проведен расчет нагрузок, выбор числа и мощности силовых трансформаторов, типов распределительных устройств. Проведен расчет токов короткого замыкания, по полученным значениям была проверена защитная и коммутационная аппаратура. Кабельные линии проверены по условиям длительно допустимому току, потере напряжения, на термическую стойкость и не возгорание. А также выполнен расчет искусственного заземления, системы уравнивания потенциалов и молниеотвода.

Выпускная квалификационная работа выполнена в объеме 61 страниц, содержит 11 таблиц, 16 рисунков и графическую часть на 6 листах формата А1.

ABSTRACT

The topic of the given graduation work is « design solution's developing for the power supply of the fitness center ». The object of the graduation work is developing a plan of supply lines and ensuring electrical safety of the fitness center.

The aim of the work is designing a working diagram of a power network, power supply for engineering systems, load calculation, equipment selection and verification, design of electric lighting. The graduation work consists of an explanatory note on 61 pages, introduction, including 16 figures, 11 tables, the list of 20 references including 4 foreign sources and the graphic part on 6 A1 sheets

The graduation work may be divided into several logically connected parts which are analysis of the object, compiling tasks, performing according to the guests and regulatory and technical documentation. The senior paper consists of the following paragraphs: characteristics of the object of graduation work, selection of the electrical circuit, switchgears and basic design solutions for connecting engineering systems, selection of power, type and number of power transformers of the complete transformer substation, calculation of short circuit current, selection and verification of equipment, circuit design grounding, equipotential bonding systems and lightning conductors, verification of selected equipment.

The result of graduation work is consistent with main goal, as the developed design solutions measure up with modern requirements for the reliability of power supply and electrical safety.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1 Характеристика объекта	7
2 Проектирование электрического освещения	14
3 Выбор и расчет силовой сети и подключения инженерных систем	21
4 Выбор и исполнение питающей сети	38
5 Расчет токов короткого замыкания	46
6 Проверка выбранного оборудования	49
7 Расчет контура заземления, молниезащиты и системы уравнивания потенциалов	55
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	61
Список используемых источников	63

ВВЕДЕНИЕ

На данный момент одним из приоритетных национальных проектов, реализуемых правительством Российской Федерации является "Укрепление общественного здоровья". Ключевая задача, поставленная в проекте: Формирование системы мотивации граждан к здоровому образу жизни, включая здоровое питание и отказ от вредных привычек. В соответствии с рекомендациями всемирной организации здравоохранения дети и молодые люди в возрасте 5-17 лет должны заниматься ежедневно физической активностью от умеренной до высокой интенсивности, в общей сложности, не менее 60 минут, а взрослые люди в возрасте 18 - 64 лет должны уделять не менее 150 минут в неделю занятиям аэробными упражнениями средней интенсивности, или не менее 75 минут в неделю занятиям аэробными упражнениями высокой интенсивности.

Спорт, с государственной точки зрения, - это важнейшее направление нашей деятельности. Важнейшее – потому что это и здоровье нации, это и борьба с преступностью, это, по сути, снижение социальных расходов по многим направлениям. Это увеличение обороноспособности, если иметь в виду здоровья призывников, это повышение производительности труда. Это комплексная проблема, и она дает эффект сразу по нескольким направлениям, если мы её своевременно, грамотно и системно будем решать.

Плавание – исключительный вид спорта. Занятия в бассейне хороши сами по себе и как дополнение к другим видам фитнеса. Систематическое занятие плаванием эффективно развивает мышцы и способствует укреплению костей. Также плавание влияет на выработку эндорфинов и оказывает медитативный эффект.

В настоящий момент на территории Тольятти имеется около двадцати пяти бассейнов, из них полноценно обустроенных для проведения соревнований или полноценных тренировок только 5. Расположены эти

бассейны недостаточно удобно, а также не являются очень доступны для студентов ТГУ.

Физкультурно-оздоровительный комплекс «ТГУ» будет построен в городском округе Тольятти в рамках Федерального партийного проекта партии «Единая Россия» «500 бассейнов». Проект реализуется с 2010 года совместно с Министерством образования и науки РФ и с 2013 года с Министерством здравоохранения РФ.

При строительстве бассейнов используется самое современное оборудование, позволяющее обеспечить высокую степень последующей эксплуатационной безопасности, экономить средства при обслуживании, а инновационная система водоподготовки создает более комфортную и безопасную среду для занимающихся спортом. Бассейны, построенные в рамках партийного проекта «500 бассейнов», доступны не только студентам ТГУ, а также гражданам с ограниченными возможностями здоровья (маломобильным группам населения).

На основании вышеперечисленного данная тема является актуальной. Целью выпускной квалификационной работы является разработка проектных решений электроснабжения физкультурно-оздоровительного комплекса «ТГУ».

1. Характеристика объекта

Объектом выпускной квалификационной работы является физкультурно-оздоровительный комплекс ТГУ представляющий собой крытый плавательный бассейн расположенного по адресу: Самарская область, г. Тольятти, Центральный район, южнее здания, имеющего адрес ул. Ушакова, 59. Местоположение указано на рисунке 1.1.

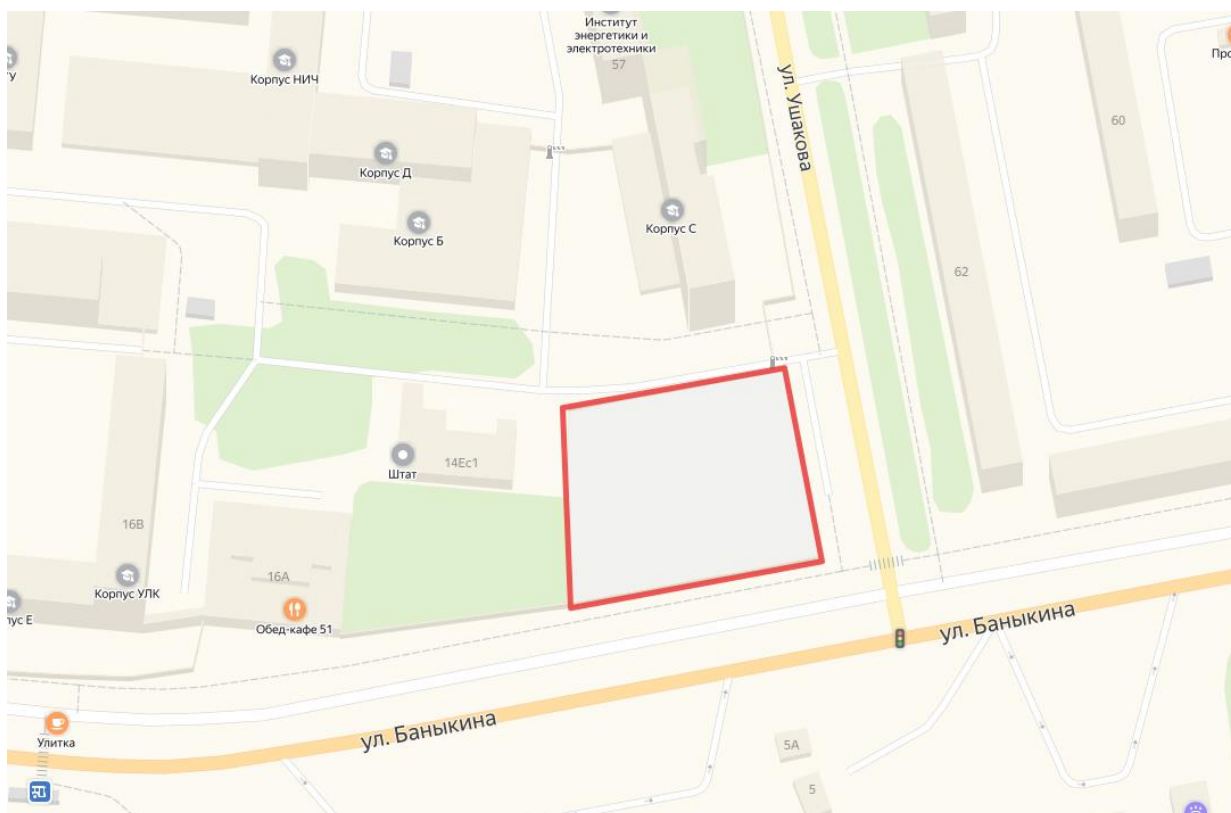


Рисунок 1.1 – Расположение ФОК ТГУ.

1.1 Назначение проектируемого объекта

По своему назначению бассейн является универсальным учебно-тренировочным, оборудованным для плавания, водного поло и предназначенным для обучения плаванию, оздоровительных занятий, тренировок.

Крытый плавательный бассейн ТГУ должен обеспечить проведение физкультурно-оздоровительных и учебно-тренировочных занятий, ориентированных на массовое оздоровление различных категорий граждан, включая маломобильные группы населения. Занятия в бассейне детей дошкольного и младшего школьного возраста не предусматриваются.

Количество часов эксплуатации в день бассейна - 12 часов, 6 смен (9.00-21.00). Продолжительность работы бассейна составляет 353 дня в год или 4236 часов, один рабочий день в месяц используется для проведения профилактических работ.

1.2 Основные характеристики здания

Площадь застройки составляет 1899,25 м². Проектируемое здание трехэтажное, включая подвал, в плане имеет прямоугольную форму, размерами 42,00 м × 41,40 м. Здание плавательного бассейна отапливаемое, двухэтажное. Площадь первого этажа 1702,11 м². Площадь второго этажа 261,70 м² и подвального этажа 1276,41 м². Высота первого этажа переменная 4,270 м; 3,000 м, и 7,280 м в залах бассейна и подготовительных занятий, высота второго этажа 3,920 м. На рисунке 1.2 изображен фасад объекта согласно плана, где видны стены гранитного исполнения, стены композитные панели системы кассет; стены сендвич-панельни, пилястры (алюминиевые композитные панели), площадка входа, крыльцо, пандусы, витражи, двери стальные, козырьки, парапетный нащельник, металлические лестницы, ограждения лестниц и пандусов, ограждение парапетов, вентрешетки.



Рисунок 1.2 – Фасад объекта.

Наружные стены по А до отметки +0,850 выполнены из керамического кирпича толщиной 250 мм, со слоем утеплителя из минеральной ваты толщиной 100 мм и облицовкой гранитными плитами (система навесного фасада). Выше отметки +0,850 стоечно-ригельная фасадная система с остеклением типа «тепло-холод»; по оси 1 в осях Д-И до отметки +2,060 стены выполнены из керамического кирпича толщиной 380 мм, со слоем утеплителя из минеральной ваты толщиной 100 мм и облицовкой гранитными плитами (система навесного фасада). Выше отметки +2,060 стоечно-ригельная фасадная система с остеклением типа «тепло-холод» до отметки +5,260, выше этой отметки стены выполнены из стеновых панелей типа «Сендвич» толщиной 150мм; по оси 1 в осях Б-Д до отметки +0,850 стены выполнены из керамического кирпича толщиной 250 мм, со слоем утеплителя из минеральной ваты толщиной 100 мм и облицовкой гранитными плитами (система навесного фасада). Выше отметки +0,850 стоечно-ригельная фасадная система с остеклением типа «тепло-холод» до отметки +5,120 выше этой отметки, а также в осях А-Б , стены выполнены из стеновых панелей типа «Сендвич»; по оси 8 в осях А-В до отметки +0,850 выполнены из керамического кирпича толщиной 250 мм, со слоем утеплителя из минеральной ваты толщиной 100 мм и облицовкой гранитными плитами (система навесного фасада). Выше отметки +0,850

стоечно-ригельная фасадная система с остеклением типа «тепло-холод» до отметки +5,120, выше этой отметки, а также в осях А-В, стены выполнены из стеновых панелей типа «Сендвич»; по оси 8 в осях В-И до отметки +2,060 стены выполнены из керамического кирпича толщиной 380 мм, со слоем утеплителя из минеральной ваты толщиной 100 мм и облицовкой гранитными плитами (система навесного фасада). Выше отметки +2,060 стоечно-ригельная фасадная система с остеклением типа «тепло-холод» до отметки +5,260, выше этой отметки стены выполнены из стеновых панелей типа «Сендвич» толщиной 150мм; Колонны облицованы декоративными пилястрами из фасадной системы Alucobond. Наружная стена вдоль оси И до отметки +2,060 выполнена из керамического кирпича толщиной 380 мм, со слоем утеплителя из минеральной ваты толщиной 150 мм и облицовкой гранитными плитами (система навесного фасада). Выше отметки +2,060 стена выполнена из стеновых панелей толщиной 150мм.

Внутренние перегородки из керамического кирпича толщиной 120 мм; 250 мм; оштукатурены и окрашены.

Все выше описанное видно на рисунке 1.3.



Рисунок 1.3 – Боковой фасад.

Отделка стен, потолков и полов на путях эвакуации:

- негорючий подвесной потолок;
- стены – окраска водоэмульсионная краской;
- пол – керамогранитная плитка.

Для отделки полов на обходных дорожках бассейна и помещениях с мокрыми процессами - керамическая плитка; в зале «сухого плавания» - спортивное ПВХ покрытие; в кабинетах и других помещениях хозяйственного назначения применяется гомогенное покрытие; в коридорах и тамбурах – керамогранитная плитка.

На лестничных клетках - керамогранитная плитка или бетонное покрытие с упрочненным верхним слоем;

Для отделки стен – окраска стен согласно назначению помещения и требуемым эксплуатационным характеристикам применяемых в нем покрытий. В санузлах, душевых, умывальных, комнатах уборочного инвентаря отделка стен выполнена из керамической плитки на высоту 1.8 м, выше – окраска.

В помещениях основного назначения и коридорах используются подвесные потолки с каркасом из негорючих материалов и заполнением из минераловатных плит, в санузлах и помещениях вспомогательного назначения – окраска ВДК.

На первом этаже плавательного бассейна предусмотрены залы бассейна и подготовительных занятий, тренерские, кабинет медсестры, раздевальные и служебно-бытовые помещения. На втором этаже расположены венткамера и технический балкон.

В подвальном этаже расположены технические и служебно-бытовые помещения: электрощитовая, водомерный узел, венткамера, мастерская по ремонту оборудования, комната хранения светильников и электрооборудования, помещение для прокладки инженерных коммуникаций, озонаторная, помещение водоподготовки, помещение для хранения реагентов, комната персонала, комната приема пищи, коридоры.

Основные функциональные помещения здания располагаются на 1-м этаже. В состав проектируемого здания входят следующие функциональные зоны:

- зоны встречи и административной части;
- спортивная зона - помещения бассейна, зал подготовительных занятий;
- помещения медицинского назначения;
- помещения подсобного и вспомогательного назначения;
- санитарно-бытовые помещения;
- технические помещения.

1.3 Прилегающая территория

Общая площадь благоустраиваемого участка составляет 4889,96 м². Свободная от застройки территория участка озеленяется посевом многолетних трав. Площадь озеленяемого участка составит 1322,52 м².

Площадка имеет 2 въезда-выезда, обоснованных в первую очередь организацией пожарных проездов. Минимальная ширина основного проезда принята 3,5 м, в местах расстановки оборудования пожарных машин (упоров, лестниц, брандспойта и т.д.) вдоль главного фасада здания, предусмотрена полоса шириной 3,5 м, пригодная для проезда пожарных машин.

Запроектирована открытая автостоянка в пределах участка на 12 мест. Из них 1 место для маломобильных групп населения. Предусмотрена разметка согласно, предусматривающую использование, как инвалидами, так и обычными автомобилистами.

Проезды, площадки, тротуары, площадка для стоянки машин, запроектированы с асфальтобетонным покрытием с бортовым камнем «Камни бортовые бетонные и железобетонные». Тротуар по периметру крытого плавательного бассейна, включая отмостку запроектирован с

асфальтобетонным покрытием. В местах прохождения инвалидных колясок предусмотрен пониженный бордюр.

В комплекс работ по благоустройству территории входит строительство автомобильных проездов, площадок и дорог, расположенных вокруг проектируемого здания, что обеспечивает проезд пожарных машин и транспорта, обслуживающего предприятие.

Запроектирована открытая автостоянка в пределах участка на 12 мест. Из них 1 место для маломобильных групп населения. Предусмотрена разметка согласно, предусматривающую использование, как инвалидами, так и обычными автомобилистами.

Проектом предусматривается установка 2 контейнеров на расстоянии 27 м от проектируемого объекта в западном направлении на существующей асфальтовой площадке.

Вывод: проанализировав проектную документацию разделов ПЗ, ПЗУ и АР формируются следующие задачи выпускной квалификационной работы:

1) Спроектировать систему основного и аварийного освещения объекта и прилегающей территории, отвечающую нормам освещенности согласно СП 52.13330.2016 [3];

2) Рассчитать и спроектировать силовую сеть и подключение инженерных систем;

3) Спроектировать систему электропитания физкультурно-оздоровительного комплекса ТГУ;

4) Разработать систему заземления, молниезащиты, а также основную и дополнительную систему уравнивания потенциалов согласно требованиям главы 1.7 ПУЭ [1].

2. Проектирование электрического освещения

В настоящее время существует большое количество методик светотехнического расчета, такие как, метод коэффициента использования светового потока, точечный метод и т.д. С целью получения более точных и подробных данных, а также получения более наглядного результата, принято решение произвести расчет рабочего, аварийного и внешнего освещения с помощью программы «DIALux».

2.1 Выбор светильников

Так как бассейн является помещением с особо влажной средой светильники должны иметь хорошую влагозащищенность, поэтому принято использовать светильники со степенью защищенности от IP40. Рассматривалось несколько производителей светильников: CSVТ, ЛАЙТЕН и LUXONIK. По технико-экономическим показателям было принято использовать светильники от российского производителя ЛАЙТЕН.

Для освещения чаши бассейна выбраны многофункциональные светодиодные прожекторы «L-Banner 96» с степенью защиты IP66. Выбранные прожекторы не требуют сервисного обслуживания, срок службы 20 лет, имеют высокий индекс цветопередачи и полное отсутствие стробоскопического эффекта. Установка прожектора предусмотрена креплением к боковым стенам на высоте 3 м от уровня чистого пола.

Для освещения пола вокруг чаши бассейна выбраны светодиодные светильники «L-industry new 12» с степенью защиты IP66. Высота установки светильников 2,5 м от уровня пола с креплением на стену.

Для помещений С/У, душевых, предбанников выбраны накладные светодиодные светильники RKL LED-1 имеющие степень защищенности IP40, обладает мягким и рассеянным светом. Устанавливаются на потолках.

Для рабочих помещений подвального этажа выбраны светильники ARCTIC LED-1 с высокой степенью защиты IP 65. Имеют высокую светоотдачу что позволяет обеспечить должную освещенность рабочих помещений.

Для вестибюля, коридоров, административных и других помещений первого этажа выбраны светодиодные светильники ECO LED-1 с высокой степенью защиты IP65 и хорошей светоотдачей.

Для освещения путей эвакуации выбраны светильники MARS LED-1 с креплением на стены, имеющие степень защиты IP40.

Для обеспечения безопасности предусматривается так же и аварийное эвакуационное освещение, а именно антипаническое и для освещения путей эвакуации. Для аварийного освещения будут задействованы вышеперечисленные светильники, запитанные от отдельных шкафов аварийного освещения ЩАО1 и ЩАО2.

Наружное освещение выполняется на опорах NOV4 LED высотой 4 метра с встроенным светодиодным светильником мощностью 28 Вт, имеющий класс защиты IP65.

2.2 Составление 3D модели помещения

Из раздела AP был загружен в программу DIALux план расчётного помещения. Далее обрисована геометрия помещения. Согласно плана в помещение внесены чаша бассейна, лестницы, поручни, лавочки, двери, окна, фермы и перекрытия. В результате получена 3D модель расчётного помещения. Результаты проделанной работы представлены на рисунке 2.1.

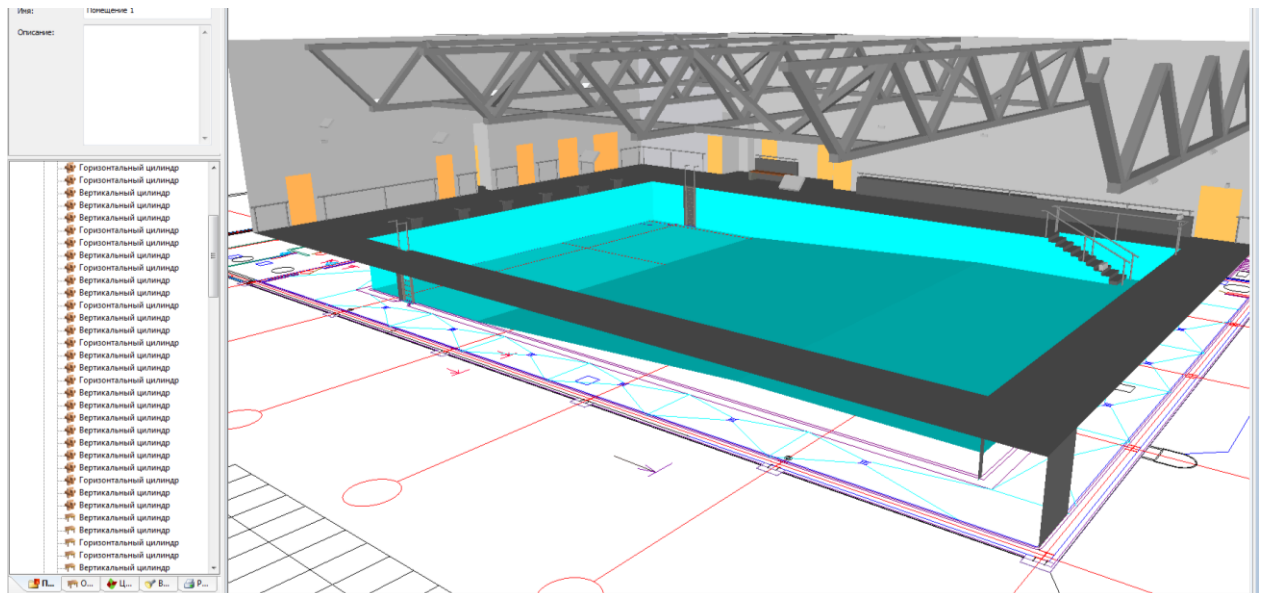


Рисунок 2.1 – 3D модель расчётного помещения.

2.3 Расчет распределения светового потока

Для расчёта распределения светового потока в составленную 3D модель помещения загружены светильники выбранные в пункте 2.1. Программа DIALux в автоматическом режиме производит расчёт освещенности и распределения светового потока. Полученные значения приведены в таблице 2.1. Распределение светового потока представлены на рисунках 2.2 и 2.3.

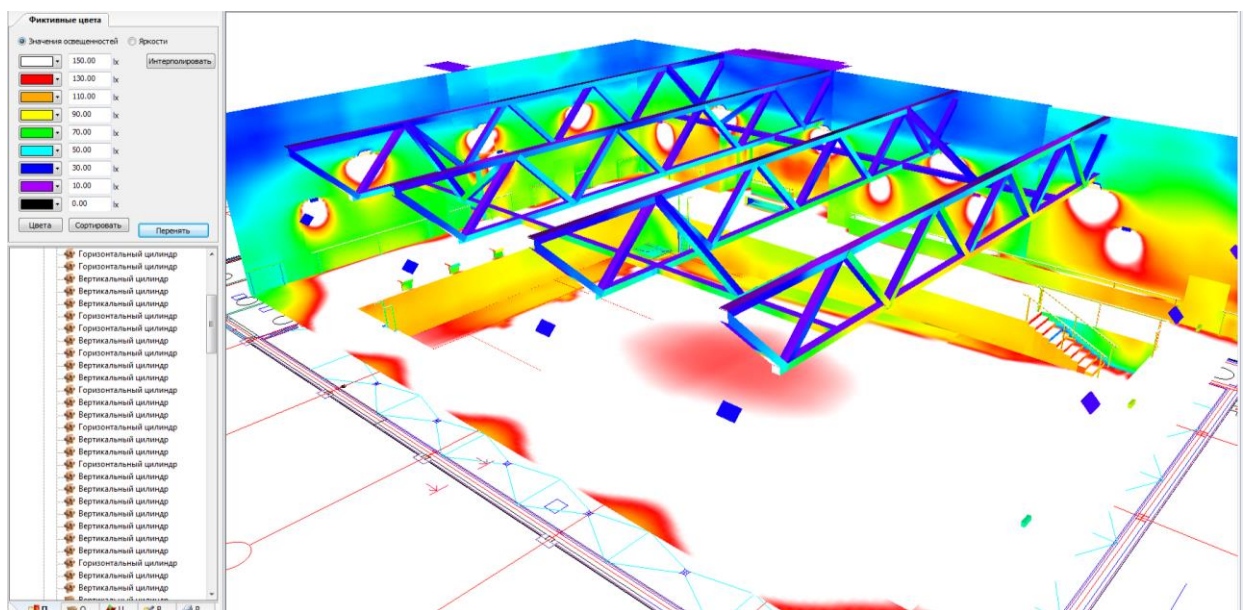
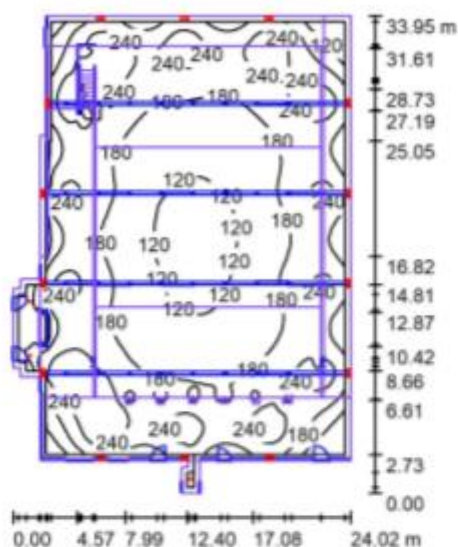


Рисунок 2.2 – Распределение светового потока в расчетном помещении.

Помещение 1 / Вывод результатов в один лист



Высота помещения: 9.300 m, Коэффициент эксплуатации: 0.80

Значения в Lux, Масштаб 1:436

Поверхность	ρ [%]	E_{cp} [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_{cp}
Рабочая плоскость	/	186	83	292	0.447
Полы (201)	35	148	0.00	2268	/
Потолок	70	46	12	64	0.261
Стенки (30)	50	76	2.70	2362	/

Рабочая плоскость:

Высота: 2.050 m
 Растр: 128 x 128 Точки
 Краевая зона: 0.400 m

Ведомость светильников

№	Шт.	Обозначение (Поправочный коэффициент)	Φ (Светильник) [lm]	Φ (Лампы) [lm]	P [W]
1	14	LEDEL L-banner NEW 96/14496/160/Г60/OS Для внешнего и внутреннего освещения территорий предприятий, автостоянок и т.д. (1.000)	13178	14496	160.0
2	3	LEDEL L-industry NEW 12/1452/30/Д/OS Для установки в нежилых помещениях с тяжелыми условиями эксплуатации (1.000)	1261	1452	15.0
			Всего: 188275	Всего: 207300	2285.0

Удельная подсоединенная мощность: $3.22 \text{ W/m}^2 = 1.73 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Поверхность основания: 710.28 m^2)

Рисунок 2.3 – Резюме.

Расчёты освещенности для оставшихся помещений приведены так же в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Результаты светотехнических расчётов

№ пом.	Наименование помещения	Тип светильников	n _{свет}	E _{норм} , Лк	E _{факт} , Лк	P _Σ , Вт
116	Бассейн	L-banner NEW 96	14	150	186	2643
135		L-industry NEW 12	15			
137		MARS LED-1	3			
		RKL LED-1	5			
123	Зал подготовительных занятий	ECO LED-1	24	200	243	876
		MARS LED-1	1			
109	Кабинет администрации	ECO LED-1	6	200	251	210
130	Раздевалка женская	ECO LED-1	23	300	316	877
		MARS LED-1	2			
125	Раздевалка мужская	ECO LED-1	15	200	223	525
102	Вестибюль	ECO LED-1	23	150	171	913
		MARS LED-1	3			
101	Тамбур	ECO LED-1	3	50	143	105
101.1	Фасад здания	Lodi LED-1	8	-	-	256
105	Регистратура	ECO LED-1	3	200	220	105
104	Помещение охраны	ECO LED-1	6	150	191	201
118	Кабинет врача	ECO LED-1	4	300	315	140
119	Кабинет дежурной мед сестры	ECO LED-1	4	300	321	140
117	Ожидальня	ECO LED-1	3	200	218	105
111	С/У мужской тренерский	RKL LED-1	1	75	120	14
113	С/У женский тренерский	RKL LED-1	1	75	120	14
114	Душевая мужская тренерская	RKL LED-1	2	50	134	28
115	Душевая женская тренерская	RKL LED-1	2	50	132	28
110	Тренерская мужская	ECO LED-1	2	150	182	70
112	Тренерская женская	ECO LED-1	2	150	180	70
120	С/У	RKL LED-1	1	75	110	14
121	С/У	RKL LED-1	2	75	151	28
122	С/У	RKL LED-1	2	75	149	28
127	С/У мужской	RKL LED-1	1	50	116	14
132	С/У женский	RKL LED-1	1	50	124	14
128	Душевая мужская	C360 2	4	50	121	72
133	Душевая женская	C360 2	4	50	126	72
129	С/У для МГН мужской	RKL LED-1	2	75	136	28
134	С/У для МГН мужской	RKL LED-1	2	75	139	28
126	Преддушевая мужская	RKL LED-1	2	75	110	28
131	Преддушевая женская	RKL LED-1	2	75	106	28
106	Гардероб	ECO LED-1	4	150	189	140
107	Касса	ECO LED-1	2	150	197	70
108	Помещение администрации	ECO LED-1	3	150	215	105
103	Место отдыха МГН	ECO LED-1	2	50	113	70
124	Инвентарная	ECO LED-1	1	50	89	35
136	Инвентарная	ECO LED-1	2	50	121	70
138	Лестничная клетка	ECO LED-1	2	50	90	106
		MARS LED-1	1			
139	Лестничная клетка	RKL LED-1	1	50	98	14
140	Лестничная клетка	TS LED-1	1	50	82	8
203	Лестничная клетка	RKL LED-1	3	50	101	42
202	Технический балкон	TS LED-1	5	50	75	76
		MARS LED-1	1			
204	Воздухозаборная	TS LED-1	2	50	61	16

Продолжение таблицы 2.1

201	Венткамера	TS LED-1	9	50	88	72
002	Электрощитовая	TS LED-1	3	75	124	24
003	ИТП	TS LED-1	6	150	187	48
017	Коридор	ARCTIC LED-1	3	75	104	90
		MARS LED-1	1			
016	Помещение для прокладки инженерных коммуникаций	ARCTIC LED-1	14	75	89	252
015	Помещение для прокладки инженерных коммуникаций	ARCTIC LED-1	14	75	97	360
		MARS LED-1	3			
020	Коридор	ARCTIC LED-1	4	75	94	144
		MARS LED-1	2			
018	Венткамера	TS LED-1	3	50	86	24
006	Помещение для ремонта светильников и электрооборудования	ARCTIC LED-1	9	300	341	162
005	Комната приема пищи	ARCTIC LED-1	6	100	192	108
019	Коридор	ARCTIC LED-1	7	75	110	162
		MARS LED-1	1			
014	Помещение водоподготовки	ARCTIC LED-1	19	200	240	142
004	Зона водомерного узла	ARCTIC LED-1	2	200	214	36
007	Комната приема пищи	ARCTIC LED-1	2	100	148	36
009	С/У и душевая персонала	RKL LED-1	3	75	103	42
008	Комната персонала	ARCTIC LED-1	6	300	325	108
012	Помещение для хранения реагентов	ARCTIC LED-1	2	50	84	36
013	Помещение озонаторной	ARCTIC LED-1	2	50	80	36
001	Лестничная клетка	RKL LED-1	2	50	91	28
010	Тамбур шлюз	TS LED-1	2	50	102	16
011	Лестница	TS LED-1	1	50	79	8

Расчёт наружного освещения ведётся так же в программе DIALux, для чего моделируется наружная сцена. Методика расчёта аналогична.

2.4 Расчет осветительной нагрузки

Для обеспечения надежной работы освещения, все светильники решено разбить на два щита рабочего освещения: ЩО1 и ЩО2. В щитах освещения светильники так же разбиты на группы. Установленная мощность группы рассчитывается по формуле 2.1.

$$P_{уст.гр} = \sum_{1}^n P_{ном.n} \quad (2.1)$$

где: $P_{ном.n}$ – суммарная мощность всех установленных светильников.

Далее по формуле 2.2 рассчитывается установленная мощность щита освещения.

$$P_{уст.щ} = \sum_{1}^n P_{уст.гр} \quad (2.2)$$

Расчет рабочей мощности потребляемой щитом освещения проводится по формуле 2.3.

$$P_p = P_{уст.щ} \cdot K_c \quad (2.3)$$

где: K_c – коэффициент спроса который согласно таблице 7.6 в СП 52.13330.2016 [3] для данной категории помещения принимается равным 1.

Далее рассчитывается рабочий ток щитов освещения, по формуле 2.4.

$$I_p = \frac{P_p}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos\varphi} \quad (2.4)$$

где: U_n – номинальное напряжение; $\cos\varphi$ – коэффициент активной мощности.

Результаты расчетов токов и нагрузок по групповым щитам рабочего и аварийного освещения, а также по щиту наружного освещения сведены в таблицу 2.2.

Таблица 2.2 – Результаты расчетов токов и нагрузок щитов освещения.

Наименование щита	Отметка установки	№ пом	Тип щита	Кол-во гр.	P_y , кВт	P_p , кВт	I_p , А
ЩО1	-3,000	002	ЩРН-36(з)-0 36	11	1,48	1,48	2,3
ЩО2	0,000	104	ЩРН-24(з)-0 36	16	6,66	6,66	10,3
ЩАО1	-3,000	002	ЩРН-24(з)-0 36	4	0,56	0,56	0,87
ЩАО2	0,000	104	ЩРН-24(з)-0 36	4	1,62	1,62	2,52
ЩУО	-3,000	002	ЯУО-9601-3474	1	0,5	0,5	0,76
Итого						10,8	16,8

Вывод: в данном разделе произведен выбор светильников, а также сделан светотехнический расчет внешнего, наружного, а также аварийного освещения. Произведен расчет нагрузок и расчетных токов, в результате выбраны типы используемых щитов освещения.

3. Выбор и расчет силовой сети и подключения инженерных систем

Расчет и выбор силовой сети для подключений инженерных систем, а также систем общих нужд, является особо важным разделом, так как данные расчеты позволяют обеспечить как бесперебойность электроснабжения, а также максимально экономически эффективно подобрать проводники и защитную аппаратуру.

Так как в здании бассейна предусмотрены потребители первой категории, для электроснабжения выбирается магистрально-радиальная схема электроснабжения с установкой в электрощитовой вводного распределительного устройства с автоматическим вводом резерва.

3.1 Расчет нагрузок

Расчет нагрузок ведется по методике расчета нагрузок общественных зданий согласно пункта 7.2 СП 256.1325800.2016 [3]. Потребители распределены по щитам управления, щиты по шинам ВРУ. В первую очередь рассчитывается рабочая активная мощность щита, рассчитывается по формуле 3.1.

$$P_p = \sum_1^n P_{уст.n} \cdot K_c \quad (3.1)$$

где: $\sum_1^n P_{уст.n}$ – суммарная установленная мощность всех потребителей щита; K_c – коэффициент спроса выбирается по СП 52.13330.2016 [3]. Следующим шагом рассчитывается реактивная нагрузка щита, расчет производится по формуле 3.2.

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg}\varphi \quad (3.2)$$

где: $\operatorname{tg}\varphi$ – коэффициент реактивной мощности; Следующим шагом рассчитывается полная рабочая нагрузка щита, расчет производится по формуле 3.3.

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} \quad (3.3)$$

Далее рассчитывается рабочий ток каждого щита, расчет ведется по формуле 3.4.

$$I_p = \frac{P_p}{\sqrt{3} \cdot U_H} \quad (3.4)$$

Следующим этапом рассчитываются итоговые активные и реактивные нагрузки на вводах, а также итоговые нагрузки при пожаре. Рассчитываются по формулам 3.5 и 3.6, итоговая полная мощность и рабочий ток рассчитываются по формулам 3.3 и 3.4.

$$P_p = \sum_1^n P_{p.щита} \quad (3.5)$$

$$Q_p = \sum_1^n Q_{p.щита} \quad (3.6)$$

Для итоговых значений нагрузок на вводах, а также нагрузок при пожаре рассчитывается итоговое значение $\cos\varphi$, рассчитывается по формуле 3.7.

$$\cos\varphi = \cos\left(\arctg\frac{Q_p}{P_p}\right) \quad (3.7)$$

Расчеты нагрузок сводятся в таблицу 3.1.

Таблица 3.1 – Результаты расчетов нагрузок

№	Потребитель	N, шт	P _{ном} , кВт	P _{уст} , кВт	Kс/ Ки	cosφ	tgφ	P _p , кВт	Q _p , кВАр	S _p , кВА	I _p , А
Ввод №1											
1	ЯТП 0,25 УЗ 220/36 В.	8	2	2							
2	Розеточная группа пом. 015	1	0,24	0,24							
3	Розеточная группа пом. 019	1	0,18	0,18							
4	Розеточная группа пом. 005, 006	1	0,6	0,6							
5	Розеточная группа пом. 007	1	0,18	0,18							
6	Розеточная группа пом. 008	1	0,18	0,18							
7	Насос М1 (основной) пом. 014	1	0,5	0,5							
8	Насос М2 (основной) пом. 014	1	0,5	0,5							
9	Насос М3 (резервный) пом. 003	1	0,5	0,5							
10	Насос М4 (резервный) пом. 003	1	0,5	0,5							
11	Насос М5 пом. 009	1	0,64	0,64							
12	Рукошитель	1	2,1	2,1							
	Итого по ЩС-1 пом. 002	-	8,12	8,12	0,4	0,9	0,48	3,25	1,57	3,61	5,48
1	Розетка компьютерная пом. 105	1	0,48	0,48							
2	Розетка компьютерная пом. 015	1	0,48	0,48							
3	Розетка компьютерная пом. 107, 108	1	0,48	0,48							
4	Розетка компьютерная пом. 120	1	0,24	0,24							
5	Розетка компьютерная пом. 118	1	0,3	0,3							
6	Розеточная группа пом. 102, 103, 107	1	0,24	0,24							
7	Розеточная группа пом. 104	1	0,36	0,36							
8	Розеточная группа пом. 109	1	0,24	0,24							
9	Розеточная группа пом. 123	1	0,3	0,3							
10	Розеточная группа пом. 130, 132	1	0,3	0,3							
11	Розеточная группа пом. 126	1	0,06	0,06							
12	Рукошитель	8	16,8	16,8							
	Итого по ЩС-2 пом. 104	-	20,28	20,28	0,4	0,92	0,43	8,11	3,46	8,8	13,4

Продолжение таблицы 3.1

1	Водосточные воронки кровли	1	0,273	0,273	-						
	Итого по ЩС-3 пом. 202	-	0,273	0,273	1	0,97	0,25	0,27	0,07	0,28	0,43
1	Вентилятор кровля В3	1	0,25	0,25							
2	Вентилятор кровля В4	1	0,09	0,09							
3	Вентилятор В5 пом. 014	1	0,09	0,09							
4	Вентилятор В5* пом. 014	1	0,09	0,09							
5	Вентилятор кровля В6	1	0,25	0,25							
6	Вентилятор В7 пом. 012	1	0,103	0,103							
7	Вентилятор В8 пом. 009	1	0,103	0,103							
8	Вентилятор В9 пом. 007	1	0,105	0,105							
9	Вентилятор В10 пом. 006	1	0,082	0,082							
10	Вентилятор В12 пом. 016	1	0,103	0,103							
11	Вентилятор В13 пом. 003	1	0,154	0,154							
12	Вентилятор В15 пом. 104	1	0,088	0,088							
13	Вентилятор кровля В16	1	0,09	0,09							
14	Вентилятор В17 пом. 121	1	0,018	0,018							
15	Вентилятор В18 пом. 122	1	0,018	0,018							
16	Вентилятор В19 пом. 120	1	0,018	0,018							
	Итого по ЩВ-1 пом. 002	-	1,65	1,65	0,8	0,8	0,75	1,32	0,99	1,65	2,51
1	Внутренний блок кондиционера пом. 123	1	0,079	0,079							
2	Внутренний блок кондиционера пом. 123	1	0,079	0,079							
3	Внутренний блок кондиционера пом. 123	1	0,079	0,079							
4	Внутренний блок кондиционера пом. 123	1	0,079	0,079							
5	Внутренний блок кондиционера пом. 123	1	0,079	0,079							
6	Внутренний блок кондиционера пом. 109	1	0,045	0,045							
7	Внутренний блок кондиционера пом. 108	1	0,028	0,028							
8	Внутренний блок кондиционера пом. 107	1	0,028	0,028							
9	Внутренний блок кондиционера пом. 106	1	0,028	0,028							
10	Внутренний блок кондиционера пом. 105	1	0,028	0,028							
11	Внутренний блок кондиционера пом. 102	1	0,028	0,028							

Продолжение таблицы 3.1

12	Внутренний блок кондиционера пом. 102	1	0,028	0,028							
13	Внутренний блок кондиционера пом. 103	1	0,028	0,028							
14	Внутренний блок кондиционера пом. 104	1	0,045	0,045							
15	Внутренний блок кондиционера пом. 104	1	0,028	0,028							
16	Внутренний блок кондиционера пом. 118	1	0,028	0,028							
	Итого по ЩК пом. 002	-	0,74	0,74	0,8	0,88	0,54	0,59	0,32	0,67	1,02
	Щит освещения (ЩО-1) пом. 104	-	1,48	1,48	1	0,98	0,20	1,48	0,30	1,51	2,29
	Наружный блок кондиционера (К2.1)	-	21,3	21,3	0,8	0,85	0,62	17	10,6	20,1	30,5
	Наружный блок кондиционера (К1.1)	-	21,2	21,2	0,8	0,85	0,62	17	10,5	20	30,3
	Шкаф управления водоподготовкой SPS-1.1 пом. 014	-	30,1	30,1	1	0,85	0,62	30,1	18,7	35,4	53,8
	Тепловая завеса КТЗ-1 пом. 101	-	0,2	0,2	1	0,9	0,48	0,20	0,10	0,22	0,34
	Тепловая завеса КТЗ-2 пом. 101	-	0,2	0,2	1	0,9	0,48	0,20	0,10	0,22	0,34
	ШУТ пом. 003	-	0,1	0,1	1	0,85	0,62	0,10	0,06	0,12	0,18
	Шкаф автоматики ША-ИТП пом. 003	-	2,8	2,8	1	0,85	0,62	2,80	1,74	3,29	5,00
	Итого на вводе №1	-	-	-	-	0,87	0,58	89,1	51,5	103	156
Ввод №2											
	Компрессор (ЩУ-1; ПР-1) пом. 201	-	23,5	23,5	1	0,85	0,62	23,5	14,6	27,7	42
	Шкаф управления (ПВ-1) пом. 201	-	13	13	1	0,85	0,62	13	8,1	15,3	23,2
	Шкаф управления (ПВ-2) пом. 201	-	2,6	2,6	1	0,85	0,62	2,6	1,61	3,06	4,65
	Шкаф управления (П-3) пом. 201	-	1,1	1,1	1	0,85	0,62	1,10	0,68	1,29	1,97
	Шкаф управления (П-4) пом. 201	-	1,1	1,1	1	0,85	0,62	1,10	0,68	1,29	1,97
	Шкаф управления (П-5) пом. 014	-	0,86	0,86	1	0,85	0,62	0,86	0,53	1,01	1,54
	Шкаф управления (П-6) пом. 018	-	0,825	0,825	1	0,85	0,62	0,83	0,51	0,97	1,47
	Шкаф управления (СП-1) пом. 018	-	1,5	1,5	1	0,85	0,62	1,50	0,93	1,76	2,68
	Шкаф управления водоподготовкой SPS-1.2 пом. 014	-	2,8	2,8	1	0,85	0,62	2,80	1,74	3,29	5,00
	Щит освещения (ЩО-2) пом. 002	-	6,66	6,66	1	0,98	0,20	6,66	1,35	6,80	10,3
	Щит внешнего освещения (ЩУО) пом. 002	-	0,5	0,5	1	0,98	0,20	0,50	0,10	0,51	0,78
	Итого на вводе №2	-	-	-	-	0,87	0,58	47,8	27,7	55,2	83,9
Панель противопожарных устройств											
1	Клапан огнезадерживающий пом. 019	1	0,044	0,044							

Продолжение таблицы 3.1

2	Клапан огнезадерживающий пом. 020	1	0,044	0,044							
3	Клапан огнезадерживающий пом. 018	1	0,044	0,044							
4	Клапан огнезадерживающий пом. 018	1	0,044	0,044							
5	Клапан огнезадерживающий пом. 018	1	0,044	0,044	-						
6	Клапан огнезадерживающий пом. 019	1	0,08	0,08							
7	Клапан огнезадерживающий пом. 003	1	0,08	0,08							
8	Клапан огнезадерживающий пом. 012	1	0,08	0,08							
	Итого по ЩВ-2 пом. 018	-	0,46	0,46	1	0,9	0,48	0,46	0,22	0,51	0,78
1	Розеточная группа пом. 104	1	0,5	0,5	-						
2	ИБП пом. 104	1	0,5	0,5							
	Итого по ЩПС пом. 104	-	1	1	1	0,85	0,62	1	0,62	1,18	1,79
	Шкаф дымоудаления (ДУ-1) кровля	-	7,5	7,5	1	0,85	0,62	7,5	4,65	8,82	13,4
	Щит аварийного освещения (ЩАО-1) пом. 002	-	0,56	0,56	1	0,98	0,20	0,56	0,11	0,57	0,87
	Щит аварийного освещения (ЩАО-2) пом. 104	-	1,62	1,62	1	0,98	0,20	1,62	0,33	1,65	2,51
	Итого на щите ППУ	-	-	-	-	0,88	0,53	11,14	5,93	12,62	19,18
	Итого:	-	-	-	-	0,85	0,62	137	85,1	161	245

3.2 Выбор проводников и способа прокладки

Прокладка кабельных линий в здании будет выполняться открыто в гофрированной трубе с креплением металлическими скобами по потолку. Магистральные сети выполняются открыто скобами к по потолку, в жестких ПВХ трубах, кабельных лотках.

С целью обеспечения безопасности в здании, кабели, используемые для прокладки должны обладать негорючестью, а также при перегреве в случае пожара не выделять специфических газообразных продуктов. Поэтому принимается решение выбрать силовые кабели марки ППГнг-NF и ППГнг-FRNF. Маркировка ППГнг-NF и ППГнг-FRNF имеет следующее значение:

- П – обозначает материал внутренней изоляции жил – безгалогенный пластикат;
- П – обозначает материал внешней оболочки – безгалогенную полимерную композицию;
- Г – голый, то есть не имеющий бронированного покрова;
- нг – не горюч;
- FR – огнестойкий (термический барьер из слюдосодержащих лент);
- NF – (Halogen Free) указывает на то, что кабель не содержит галогенов, а значит при горении не выделяет специфических газообразных продуктов.

Сечение кабелей выбирается по условию длительно допустимого тока с последующей проверкой на потери напряжения. Потребители являются однотипными, поэтому для группы потребителей выбирается единое сечение кабеля, результаты сводятся в таблицу 3.2.

Рабочий ток потребителя рассчитывается по формуле 2.4.

Кабели должны удовлетворять следующим условиям проверки:

$$\Delta U\% \leq 5\%$$

$$I_p \leq I_{д.д.}$$

Потери напряжения рассчитываются по формуле 3.8.

$$\Delta U\% = \left(\frac{P_p \cdot (r_0 + \operatorname{tg}\varphi \cdot x_0) \cdot l}{n_{\text{каб}} \cdot U_{\text{НОМ}}^2} \right) \cdot 100 \quad (3.8)$$

где: r_0 – активное погонное сопротивление кабеля; x_0 – реактивное погонное сопротивление кабеля; l – длина линии; $n_{\text{каб}}$ – количество параллельных кабелей.

Таблица 3.2 – Выбор кабелей для групп потребителей

Потребитель	l, м	P_p , кВт	I_p , А	S, мм ²	Марка кабеля	$\Delta U\%$
Розеточные группы	120	0,6	1,01	3×2,5	ППГнг-НФ	1,81
ЯТП 0,25 УЗ 220/36 В.	90	0,25	0,42	3×2,5	ППГнг-НФ	0,57
Насосы	50	0,5	0,84	3×2,5	ППГнг-НФ	0,63
Рукосушители	80	2,1	3,55	3×2,5	ППГнг-НФ	4,23
Розетки компьютерные	70	0,48	0,81	3×2,5	ППГнг-НФ	0,52
Вентиляторы	150	0,25	0,47	3×1,5	ППГнг-НФ	0,58
Блоки кондиционеров	115	0,079	0,15	3×1,5	ППГнг-НФ	0,14
ИБП	25	0,5	0,95	3×1,5	ППГнг-FRHF	0,19
Водосточные воронки	150	0,273	0,45	3×1,5	ППГнг-НФ	0,63
Клапаны огнезадерживающие	60	0,08	0,14	3×1,5	ППГнг-FRHF	0,07

Выбранные кабели удовлетворяют всем условиям проверки. Аналогичной методикой производится выбор кабелей для щитов, одиночных потребителей и кабели для вводов распределительных щитов, результаты сводятся в таблицу 3.3.

Таблица 3.3 – Выбор кабелей распределительной сети

Потребитель	l, м	P_p , кВт	I_p , А	S, мм ²	Марка кабеля	$\Delta U\%$
ЩС1	20	3,25	5,48	5×10	ППГнг-НФ	0,08
ЩС2	120	8,11	13,4	5×10	ППГнг-НФ	1,24
ЩС3	48	0,27	0,43	5×6	ППГнг-НФ	0,03
ЩВ1	20	1,32	2,51	5×6	ППГнг-НФ	0,06
ЩК	20	0,59	1,02	5×4	ППГнг-НФ	0,04
ЩО-1	20	1,48	2,29	5×6	ППГнг-НФ	0,06
К2.1	90	17	30,5	5×10	ППГнг-НФ	1,96
К1.1	90	17	30,3	5×10	ППГнг-НФ	1,96
SPS-1.1	100	30,1	53,8	5×16	ППГнг-НФ	2,43
КТЗ-1	95	0,20	0,34	3×4	ППГнг-НФ	0,18

Продолжение таблицы 3.3

КТЗ-2	95	0,20	0,34	3×4	ППГ _{нг} -HF	0,18
ЩУТ	30	0,10	0,18	5×2,5	ППГ _{нг} -HF	0,02
ЩА-ИТП	30	2,80	5,00	5×2,5	ППГ _{нг} -HF	0,44
ЩВ-2	20	0,46	0,78	5×4	ППГ _{нг} -FRHF	0,03
ЩПЭС	120	1	1,79	3×4	ППГ _{нг} -FRHF	1,16
ДУ-1	90	7,5	13,4	5×6	ППГ _{нг} -FRHF	1,45
ЩУ-1; ПР-1	60	23,5	42	5×10	ППГ _{нг} -HF	1,80
ПВ-1	60	13	23,2	5×6	ППГ _{нг} -HF	1,68
ПВ-2	50	2,6	4,65	3×4	ППГ _{нг} -HF	1,26
П-3	60	1,10	1,97	3×4	ППГ _{нг} -HF	0,64
П-4	60	1,10	1,97	3×4	ППГ _{нг} -HF	0,64
П-5	80	0,86	1,54	3×4	ППГ _{нг} -HF	0,33
П-6	80	0,83	1,47	3×4	ППГ _{нг} -HF	0,64
СП-1	40	1,50	2,68	3×4	ППГ _{нг} -HF	0,58
SPS-1.2	100	2,80	5,00	5×4	ППГ _{нг} -HF	0,90
ЩО-2	120	6,66	10,3	5×6	ППГ _{нг} -HF	1,71
ЩАО-1	20	0,56	0,87	5×4	ППГ _{нг} -FRHF	0,04
ЩАО-2	120	1,62	2,51	5×4	ППГ _{нг} -FRHF	0,62
ЩУО	20	0,50	0,78	5×6	ППГ _{нг} -HF	0,02
ГРЩ-1	10	82,4	145	4×120	ППГ _{нг} -HF	0,48
ГРЩ-2	10	57,6	100	4×120	ППГ _{нг} -HF	0,34
ППУ	6	11,1	12,6	4×10	ППГ _{нг} -FRHF	0,28

Таким образом по таблицам видно, что все выбранные кабели удовлетворяют условиям проверки и тем самым удовлетворяют необходимым требованиям.

3.3 Выбор распределительных щитов

Для распределения электроэнергии от шин вводов 1 и 2 до потребителей в проекте приняты распределительные щиты ЩРн навесного исполнения, с замком, на 24, 36 и 72 модулей, в зависимости от количества электроприемников. Корпус выполнен из металла, монтаж производится на стену, в комплекте поставляются рейки, пускозащитная аппаратура и замок с ключом. Щиты имеют степень защищенности от влаги и пыли IP54, что отвечает требованиям проектируемого объекта. Щит изображен на рисунке 3.1.



Рисунок 3.1 – Распределительный щит ЩРН-36(з)-0 36 .

Выбранные щиты позволяют оградить доступ персоналу не имеющих разрешения на работу с данным электрооборудованием.

В настоящий момент компании, занимающиеся поставкой электрощитового оборудования, предлагают комплектные шкафы с автоматикой различных отечественных и зарубежных производителей. Шкафы поставляются на стройплощадку в сборе и готовые к монтажу.

Выбор поставщика электрооборудования производится на основании техникоэкономического сравнения. В настоящий момент выбор стоял между тремя производителями:

- АВВ;
- Legrand;
- ИЕК.

Окончательный выбор был остановлен на Legrand. Данный производитель работает в городе Самара по лицензии французской компании. За более чем 40 лет работы на рынке Legrand успешно

зарекомендовал себя на рынке электротоваров как в ценовом диапазоне, так и в качественных характеристиках.

Выбранный производитель производит три серии пускозащитной аппаратуры: RX, DX и TX. RX позиционируется как самая бюджетная серия с минимальным функционалом. Отключающая способность 4,5 кА. TX имеет возможность подключения дополнительных аксессуаров (независимые расцепители, приводы, блокираторы). В серии есть автоматы с характеристикой В. Отключающая способность 6 кА. Серия DX включает 25 типов устройств, типы характеристик В, С, D, МА, Z, широкий ряд вспомогательных устройств. Отключающая способность до 50 кА. Серия для применения в промышленном секторе.

С учетом перспектив развития, а также количества и классификации электроприемников целесообразнее будет использовать аппараты серии DX.

Для отдельных потребителей, у которых отсутствуют или имеют минимальные значения пусковых токов рекомендуется использовать защитные устройства класса В. Электромагнитный расцепитель в них срабатывает при превышении номинального тока на 200%, а время на срабатывание составляет 0,015 сек. Срабатывание биметаллической пластины в размыкателе с характеристикой В занимает 4-5 сек.

Таким образом для распределительных щитов ЩРн принято использовать автоматические выключатели, устройства защитного отключения и дифференциальные автоматические выключатели DX-В.

3.4 Выбор вводного распределительного устройства

Большая часть потребителей физкультурно-оздоровительного комплекса ТГУ относится ко второй категории надежности электроснабжения, такие как насосы, блоки кондиционирования, оборудование для водоподготовки, поэтому согласно правилам устройства электроустановок, выбираемая схема ВРУ должна так же предусматривать и

ручной ввод резерва. Поэтому выбирается ВРУ с принципиальной схемой, представленной на рисунке 3.2.

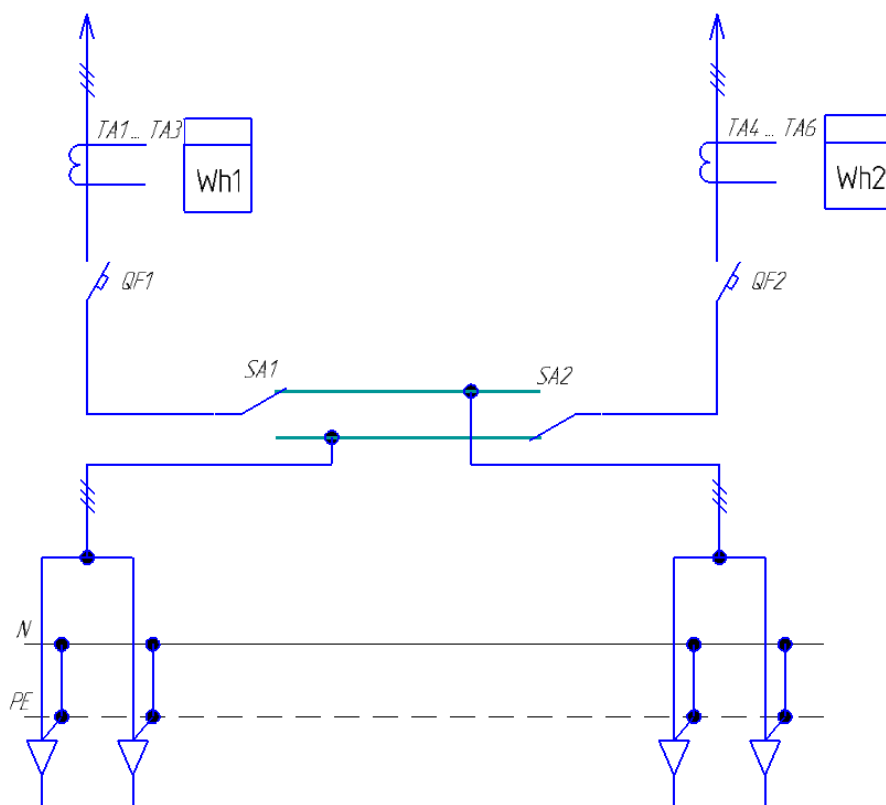


Рисунок 3.2 – Принципиальная схема ВРУ.

В первую очередь необходимо выбрать поставщика электрооборудования. Выбор производится между «ПК ЩИТКОМ» и «СТАНДАРТ ЭНЕРГО». Проведя технико-экономическое сравнение данных производителей, а также изучив отзывы потребителей, выбирается поставщик «СТАНДАРТ ЭНЕРГО» так как данный производитель положительно зарекомендовал себя на рынке и имеет хорошее соотношение цена и качество в отношении своей продукции.

Выбранный производитель производит ВРУ в оболочке из металлических панелей.

На основании расчётов нагрузки, выполненных в пункте 3.1, производим выбор шкафа ВРУ по каталогу «СТАНДАРТ ЭНЕРГО» [12]. Из рассмотренных моделей выбирается ВРУ-1-11-10-А-УХЛ4, выбранная модель имеет в своей комплектации:

- трехфазный автоматический выключатель 2 штуки (QF1, QF2);

- трехфазный перекидной рубильник 2 штуки (SA1, SA2);
- трансформатор тока 6 штук (ТА1-ТА6);
- трехфазный счетчик электроэнергии 2 штуки (Wh1, Wh2).

Необходимо произвести выбор марок оборудования для комплектации шкафа ВРУ.

Выбор автоматических выключателей на стороне ниже 1000 вольт производится по следующим условиям:

$$U_{\text{ном.р}} \leq U_{\text{ном}}$$

$$I_{\text{р.мах}} \leq I_{\text{ном.выкл}}$$

Произведем проверку автоматического DPX3 250 имеющего следующие паспортные характеристики: $U_{\text{ном}}=380\text{В}$; $I_{\text{ном.выкл}}=250\text{А}$; $I_{\text{откл}}=25\text{кА}$. результаты проверки приводятся в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – проверка автоматического выключателя DPX3 250

Устройство	Паспортные характеристики	Параметры линии
Автоматический выключатель DPX3 250	$U_{\text{ном}}=380\text{В}$	$U_{\text{ном}}=380\text{В}$
	$I_{\text{ном.выкл}}=250\text{А}$	$I_{\text{р.мах}}=245\text{А}$

Таким образом выбранный автоматический выключатель удовлетворяет условиям проверки.

Трехфазные перекидные рубильники выбираются по следующим условиям:

$$U_{\text{ном.р}} \leq U_{\text{ном}}$$

$$I_{\text{р.мах}} \leq I_{\text{ном.р}}$$

Произведем проверку рубильника S5F 250А 3Р который имеет следующие паспортные данные: $U_{\text{ном}}=400\text{В}$; $I_{\text{ном.р}}=250\text{А}$.

$$U_{\text{ном.р}}=380\text{В} \leq 400\text{В} = U_{\text{ном}}$$

$$I_{\text{р.мах}}=245\text{А} \leq 250\text{А} = I_{\text{ном.р}}$$

Таким образом выбранный рубильник S5F 250А 3Р удовлетворяет условиям проверки.

Для учета электроэнергии, а также измерения показателей электрической сети выбирается счетчики Меркурий 234 ARTM с полной рабочей мощностью $S=0,1\text{ВА}$, выбранные счетчики предназначены для одно- или двунаправленного многотарифного учета активной и реактивной электрической энергии, и мощности, а также измерения параметров электрической сети в трехфазных трех- или четырехпроводных сетях переменного тока с последующим хранением накопленной информации, формированием событий и передачей информации в центры сбора данных систем.

Счетчики предназначены для эксплуатации внутри закрытых помещений и могут быть использованы в местах, имеющих дополнительную защиту от влияния окружающей среды (установлены в помещении, в шкафу, в щитке).

Трансформатор тока выбирается по следующим условиям:

$$U_{\text{ном.р}} \leq U_{\text{ном}}$$

$$I_{\text{р.мах}} \leq I_{\text{ном}}$$

$$S_{\text{приб}} \leq S_{2\text{ном}}$$

Произведем проверку трансформатора тока ТТИ-30 300/5 имеющий следующие паспортные данные: $I_{1\text{ном}}=300\text{А}$; $I_{2\text{ном}}=5\text{А}$; $U_{\text{ном}}=0,72\text{ кВ}$; $S_{2\text{ном}}=5\text{ВА}$.

$$U_{\text{ном.р}}=380\text{В} \leq 720\text{В} = U_{\text{ном}}$$

$$I_{\text{р.мах}}=245\text{А} \leq 300\text{А} = I_{\text{ном}}$$

$$S_{\text{приб}}=0,1\text{ВА} \leq 5\text{ВА} = S_{2\text{ном}}$$

Таким образом выбранный трансформатор тока ТТИ-30 300/5 удовлетворяет условиям проверки.

3.5 Выбор главных распределительных щитов

Выбор распределительных панелей будет производиться аналогично выбору вводного распределительного устройства на базе каталогов «СТАНДАРТ ЭНЕРГО».

Выбранный производитель производит панели в металлической оболочке, с трехфазной соединительной шиной на 250А, с защитными аппаратами (предохранители или автоматическими выключателями) от выбранного производителя на десять модулей в одной панели. Так как на первом вводе предусматривается 16 отходящих линий, а на втором 14, для каждого ввода предусматривается к установке по две распределительные панели марки ВРУ-1-49-00А УХЛ4 с единой распределительной шиной.

Для распределительных панелей решено использовать так же пускозащитную аппаратуру от производителя Legrand серии DX. Однако для вводных устройств рекомендуется использовать устройства категории С. Для того, чтобы произошло срабатывание соленоида электромагнитного расцепления, установленного в таком приборе, нужно, чтобы проходящий через него поток электронов превысил номинальную величину в 5 раз. Срабатывание теплового расцепителя при пятикратном превышении номинала аппарата защиты происходит через 1,5 сек.

Выбор автоматических выключателей проводится по условиям, описанным в пункте 3.5. Результаты проверки сводятся в таблицу 3.5.

Таблица 3.4 – проверка автоматических выключателей серии DX-C

Марка выключателя	Паспортные характеристики	Параметры линии
DX-C50	$U_{НОМ}=380В$	$U_{НОМ}=380В$
	$I_{НОМ.ВЫКЛ}=50А$	$I_{р.мах}=30,5А$
DX-C40	$U_{НОМ}=380В$	$U_{НОМ}=380В$
	$I_{НОМ.ВЫКЛ}=40А$	$I_{р.мах}=23,5А$
DX-C32	$U_{НОМ}=380В$	$U_{НОМ}=380В$
	$I_{НОМ.ВЫКЛ}=32А$	$I_{р.мах}=13,4А$
DX-C25	$U_{НОМ}=380В$	$U_{НОМ}=380В$
	$I_{НОМ.ВЫКЛ}=25А$	$I_{р.мах}=5,48А$
DX-C16	$U_{НОМ}=380В$	$U_{НОМ}=380В$
	$I_{НОМ.ВЫКЛ}=16А$	$I_{р.мах}=2,29А$

Выбранные автоматические выключатели удовлетворяют условиям проверки. Таким образом для распределительных панелей ВРУ-1-49-00А УХЛ4 принята к использованию пускозащитная аппаратура DX-C.

3.6 Выбор панели противопожарных устройств

Потребители охранно-пожарной сигнализации, устройства сигнализации, эвакуационное и аварийное освещение относятся к потребителям первой категории надежности электроснабжения. Поэтому панель питания противопожарных устройств должна иметь в себе схему АВР.

Изучив предложения на рынке электротоваров, выбран наиболее подходящий поставщик щитов ППУ «МЕС-Электро». Выбор в каталоге производителя производится по максимальным рабочим токам нагрузки, рассчитанным в третьем разделе. Для установки принимается панель ППУ 2х25 имеющая в своей комплектации:

- вводные автоматы 3П DX-C25;
- схема АВР;
- распределительная шина;
- сигнальные лампы рабочего ввода.

Выбранная панель ППУ представлена на рисунке 3.3.



Рисунок 3.3 – Панель ППУ 2х25.

Проверка автоматических выключателей производится аналогично как в пункте 3.4. Автоматический выключатель 3П DX-C25 имеет следующие паспортные характеристики: $U_{\text{ном}}=380\text{В}$; $I_{\text{ном.выкл}}=25\text{А}$; $I_{\text{откл}}=25\text{кА}$.

$$U_{\text{ном.р}}=380 \leq 380 = U_{\text{ном}}$$

$$I_{\text{р.мах}}=19,1 \leq 25 = I_{\text{ном.выкл}}$$

Таким образом оборудование выбранной панели ППУ удовлетворяет условиям проверки.

Вывод: в данном разделе выполнен расчет нагрузок потребляемых силовой сетью, по результатам расчетов выбрана распределительная и защитная аппаратура. Также выбраны и проведены провода по длительно допустимому току и потере напряжения.

4. Выбор и исполнение питающей сети

Поскольку сетевая организация ОРЭС не может обеспечить необходимую мощность за счет существующих подстанций, принято решение запитать физкультурно-оздоровительный комплекс ТГУ от проектируемой подстанции.

В настоящее время широкое применение получили комплектные трансформаторные подстанции, они состоят полностью из комплектных узлов. Их изготавливают на заводах, затем доставляют узлами на место установки, то есть демонтаж оборудования в таких случаях не требуется, что значительно упрощает процесс установки. На месте уже блоки, узлы и присоединения монтируют и подключают к питающим сетям.

Любая комплектная трансформаторная подстанция включает в себя три основных элемента:

- распределительное устройство высшего напряжения;
- трансформатор;
- распределительное устройство низшего напряжения.

Так как проектом предусмотрены потребители первой категории надежности электроснабжения, а именно: устройства пожарной сигнализации, аварийное освещение, противопожарные устройства, проектируемая КТП будет включать в себя два силовых трансформатора питающихся от двух независимых трансформаторных подстанций ТП-2 и ТП-10 с питающими кабельными линиями марки АСБ-6 3х240 напряжением 6 кВ, проложенные методом горизонтального направленного бурения. Местоположение ТП-2 и ТП-10 указано на рисунке 3.3.

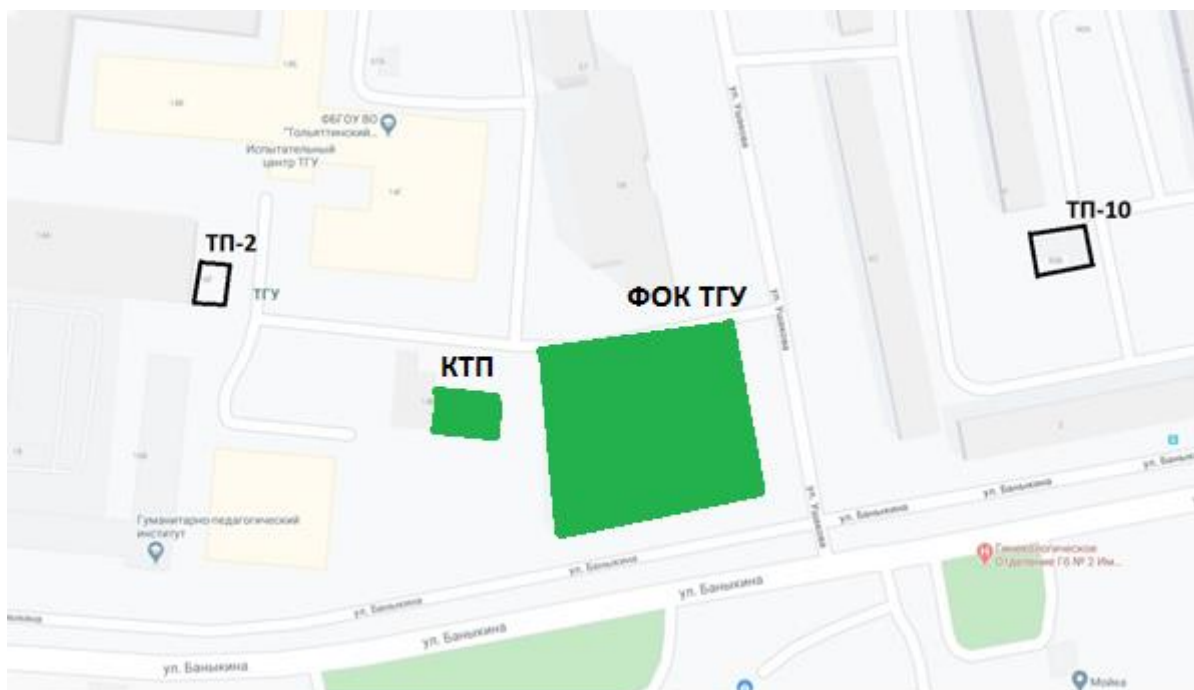


Рисунок 4.1 – Местоположение питающих трансформаторных подстанций.

4.1 Выбор исполнения корпуса КТП

В первую очередь необходимо выбрать корпус проектируемой КТП. В настоящий момент производители предлагают три вида оболочки для КТП:

- металлические;
- бетонные;
- утепленные сэндвич-панелями.

Каждая из выше перечисленных оболочек имеет ряд своих преимуществ. Выбор само собой производится из сравнения по критериям цена и качество.

Металлические корпуса для КТП имеют следующие преимущества: бюджетные, простые в производстве, их доставляют в полностью собранном состоянии, имеют небольшие габариты и вес, а также являются простыми в перевозке.

КТП чаще всего не имеют специального коридора для обслуживания. Поэтому в них нет оборудования, которое страдает от температурных перепадов. В таких устройствах устанавливают несложные электросхемы.

Основная сфера использования таких трансформаторных подстанций – это временное снабжение электрической энергией строительных объектов.

Бетонные оболочки для КТП обладают следующими достоинствами: бюджетные, достойный внешний вид, высокую степень защищенности от воздействий окружающей среды, их можно устанавливать на любых поверхностях, достаточно простой монтаж.

Если речь идет о трансформаторной подстанции в бетонной защитной оболочке, то все решает расстояние. Бетон тяжелый, поэтому везти на большие расстояния его дорого. К примеру, если продавец находится дальше 2000 км от вас, то с учетом транспортировки КТП в бетонной оболочке обойдется дороже, чем в утепленной.

Готовая бетонная КТП имеет вид бетонной постройки с крышей. Она выглядит привлекательно. Такую оболочку можно легко отремонтировать или перекрасить в любой момент. Поэтому наиболее востребованы такие подстанции в городской застройке.

Утепленные сэндвич-панелями оболочки для КТП обладают следующими качествами: самый дорогой тип оболочки для подстанции, доставляются целиком собранными, весят относительно немного – 400 кг на м², их трудно взломать, устойчивы к сейсмической активности, предусмотрен коридор для контроля за работой и ремонта оборудования, подходят для установки как в жаркой так и в арктической температурной зоне, имеют возможность регулирования температурного режима внутри оболочки, устанавливаются на специальном фундаменте.

Утепленные корпуса для трансформаторных подстанций используют на Крайнем Севере. Кроме того, такие оболочки отлично защищают чувствительное оборудование. Если предъявляются особые требования к удобству сервиса, то в утепленной КТП их реализовать несложно.

Рассмотрев характеристики всех оболочек принято решение использовать бетонную, так как является наиболее подходящей для данного объекта и условий эксплуатации.

4.2 Выбор поставщика электрооборудования

Для выбора поставщика электрооборудования был проведен анализ организаций – поставщиков на территории Российской Федерации. Учитывался соответствующий ассортимент товаров, ценовая политика, отзывы потребителей.

По результатам исследования были выбраны «Pairon Technology» и ООО «Энергия-Казань». Оба поставщика имеют достаточное количество сертификатов качества, положительных отзывов, а также хорошее соотношение по показателю цена и качество.

Но как было описано в пункте 4.1 в случае с выбором КТП в бетонной оболочке, решающим фактором является расстояние от поставщика до места монтажа КТП. «Pairon Technology» располагается в Воронеже, а ООО «Энергия-Казань» в Казани, таким образом очевидно более выгодным кандидатом является ООО «Энергия-Казань».

4.3 Выбор оборудования КТП и способа монтажа

В каталоге выбранного производителя удовлетворяет критериям выбора комплектная трансформаторная подстанция типа 2БКТП с различными комплектациями оборудования.

В так как в перспективах развития к проектируемой КТП планируется подключение учебных мастерских ТГУ к установке принимаются два трансформатора марки ТМГ12 630/6/0,4 паспортные данные которого представлены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Паспортные данные выбранного силового трансформатора

Тип	$S_{\text{ном.Т}}$ кВА	Каталожные данные					
		$U_{\text{ном}}$ обмоток, кВ		u_k , %		$P_{\text{кз}}$, кВт	P_x , кВт
		ВН	НН	ВН- НН	НН1- НН2		
ТМГ12 630/6/0,4	630	6	0,4	5,5	5,5	7,6	1,05

В качестве распределительного устройства высшего напряжения применяется RM-6 NE-IIID, выбранное РУ оснащено двумя видами коммутационных аппаратов с возможностью отключения токов короткого замыкания, аппараты изображены на рисунке 4.2. Коммутационные аппараты совмещает в себе одновременно функции двух устройств, выключателя нагрузки (выключателя) и заземляющего разъединителя, и имеют три положения: включено, отключено, заземлено. Подвижный контакт перемещается в вертикальной плоскости. Такая конструкция полностью исключает возможность наложения заземления при включенном выключателе нагрузки (выключателе).



Рисунок 4.2 – Коммутационные аппараты, применяемые в RM-6 NE-IIID.

Заземляющий разъединитель обладает стойкостью к включению на короткое замыкание. Коммутационные аппараты RM-6 выполняют функцию разделения и отключения. Шинки заземления адаптированы к режиму нейтрали электрической сети. Имеется блокировка, исключающая доступ в кабельный отсек, если аппарат не находится в положении «заземлено». Характеристики коммутационных аппаратов представлены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Характеристики коммутационных аппаратов.

	Выключатель 1	Выключатель 2
$U_{НОМ}$, кВ	6	6
$I_{НОМ}$, А	630	200
$I_{ОТКЛ.ХХ}$, А	30	16
$I_{ОТКЛ.НОМ}$, кА	20	20
$\beta_{НОР}$, %	45	45
I_T , кА	51	51
t_T , с	3	3
$t_{СВ}$, с	0,038	0,038
$t_{ПВ.ОТКЛ}$, с	0,055	0,055

В качестве распределительного устройства низшего напряжения применяются комплектные распределительные панели ЩО70-1-08У3 имеющие в своей комплектации:

- разъединители S5-400А 3р имеющего следующие характеристики:
 $U_{НОМ}=0,4$ кВ, $I_{НОМ}=400$ А;
- автоматические выключатели 3п DPX3 250 250А 70 кА имеющего следующие характеристики: $U_{НОМ}=0,4$ кВ, $I_{НОМ}=250$ А, $I_{ОТКЛ.НОМ}=70$ кА;
- трансформаторы тока ТТИ-30 300/5 имеющий следующие паспортные данные: $I_{1НОМ}=300$ А; $I_{2НОМ}=5$ А; $U_{НОМ}=0,72$ кВ; $S_{2НОМ}=5$ ВА;
- счетчики Меркурий 234 ARTM в цепи трансформаторов тока, предназначенные для одно- или двунаправленного многотарифного учета активной и реактивной электрической энергии, и мощности, а также измерения параметров электрической сети.

В качестве питающей сети от проектируемой КТП выбираются силовые кабели марки ВБШвнг(А)-ХЛ-1 на напряжение 1 кВ,

четырёхжильные, с сечением жил 240 мм² в количестве 4-х штук (по два на каждый ввод ВРУ). Выбранный кабель имеет следующую расшифровку:

В – изоляция из ПВХ пластиката;

Б – броня из стальных оцинкованных лент;

Шв – выпрессованный ПВХ защитный шланг;

нг – не распространяет горение при групповой прокладке;

(А) – класс пожарной безопасности категория А;

ХЛ – холодостойкое исполнение (температура эксплуатации до -60°С).

Питающие линии целесообразно проложить в кабельной траншее на глубине 700 мм в хризотилцементных трубах БНТ 100 в соответствии с требованиями технического циркуляра №16/2007 от 14.09.2007 г. «О прокладке взаиморезервируемых кабелей в траншеях» [19].

Выбранная КТП поставляется на место установки в виде трех составных модулей: кабельного полуэтажа, главного корпуса и крыши. Кабельный этаж подстанции устанавливается в предварительно вырытом котловане на выровненную песчано-гравийную насыпь толщиной примерно 150...200 мм, играющую роль демпфирующего слоя. Схема монтажа КТП приведена на рисунке 4.2.

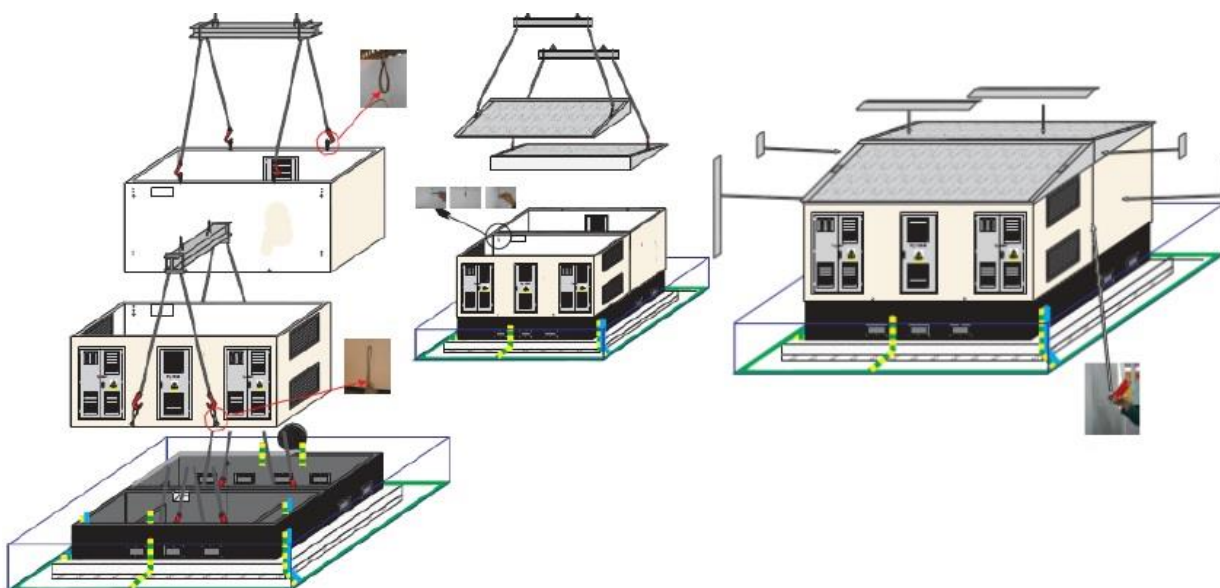


Рисунок 4.3 – Схема монтажа 2БКТП-630/6/0,4.

Для проверки выбранного оборудования необходимо провести расчет токов короткого замыкания.

Вывод: в данном разделе выполнен выбор исполнения и характеристик необходимых для комплектной трансформаторной подстанции. Определившись с характеристиками необходимыми комплектной трансформаторной подстанции, выполнен выбор поставщика комплектной трансформаторной подстанции, на основе сравнения соотношения показателей цена и качество, а также отзывов клиентов. Оборудование, входящее в комплектную трансформаторную подстанцию проверено согласно требованиям, предъявляемым к аппарату. В конце описан способ прокладки кабельных линий, а также монтаж комплектной трансформаторной подстанции.

5. Расчет токов КЗ

Расчет токов короткого замыкания на стороне 0,4 кВ ведется в именованных единицах. В первую очередь необходимо представить схему с указанием точки короткого замыкания. Принципиальная схема для расчета токов КЗ представлена на рисунке 5.1.

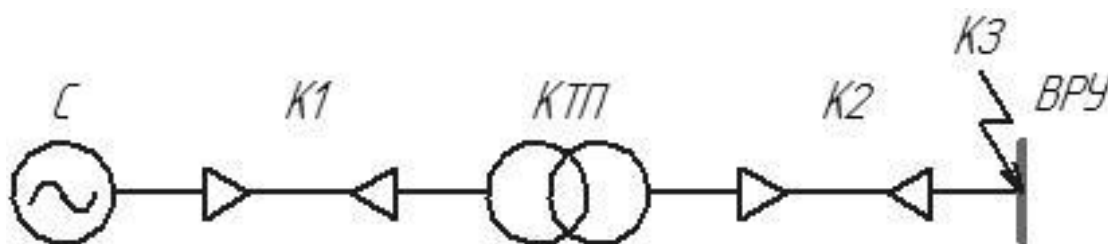


Рисунок 5.1 – Принципиальная схема для расчета токов КЗ.

Далее приводится изображение схемы замещения в которой произошло короткое замыкание. Схема замещения представлена на рисунке 5.2.

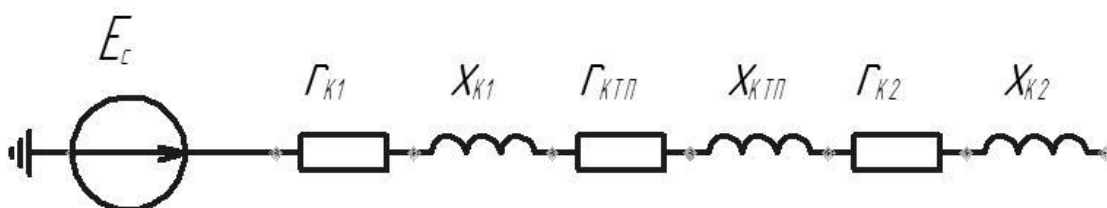


Рисунок 5.2 – Схема замещения для расчета токов КЗ.

Далее выполняется расчет всех сопротивлений в именованных единицах. Для расчета активного и реактивного сопротивлений кабельных линий, в схеме замещения, используются формулы 5.1 и 5.2.

$$r_K = r_0 l \frac{U_6^2}{U_H^2} \quad (5.1)$$

$$x_K = x_0 l \frac{U_6^2}{U_H^2} \quad (5.2)$$

где: r_0 – удельное активное сопротивление проводника; x_0 – удельное реактивное сопротивление проводника; l – длина линии; U_6 – базисное напряжение; U_H – номинальное напряжение линии.

Для расчета полного, активного и реактивного сопротивлений трансформатора, в схеме замещения, используются формулы 5.3, 5.4 и 5.5.

$$Z_{\text{КТП}} = \frac{U_k\% \cdot U_6^2}{S_H} \quad (5.3)$$

$$r_{\text{КТП}} = \Delta P_{\text{кз}} \cdot \frac{U_6^2}{S_H^2} \quad (5.4)$$

$$x_{\text{КТП}} = \sqrt{Z_{*T3}^2 - r_{*T3}^2} \quad (5.5)$$

где: $U_k\%$ – напряжение короткого замыкания трансформатора; S_H – номинальная мощность трансформатора; $\Delta P_{\text{кз}}$ – потери в трансформаторе при коротком замыкании. Результаты расчетов сводятся в таблицу 5.1.

Таблица 5.1 Результаты расчетов сопротивлений.

Объект	$r, \text{ Ом} \cdot 10^{-3}$	$x, \text{ Ом} \cdot 10^{-3}$
Кабельная линия 1	0,2	0,11
Кабельная линия 2	8,4	4,6
Комплектная трансформаторная подстанция	4,8	3,7

Далее необходимо упростить схему замещения, а также рассчитать суммарные сопротивления. Упрощенная схема замещения представлена на рисунке 5.3.

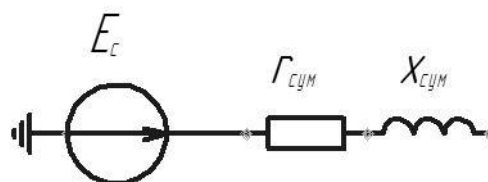


Рисунок 5.3 – Упрощенная схема замещения.

$$R_{\text{сум}} = r_{K1} + r_{\text{КТП}} + r_{K2} = (0,2 + 8,4 + 4,8) \cdot 10^{-3} = 13,5 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}$$

$$x_{\text{сум}} = x_{K1} + x_{\text{КТП}} + x_{K2} = (0,11 + 4,6 + 3,7) \cdot 10^{-3} = 8,43 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}$$

Следующим шагом необходимо рассчитать полное суммарное сопротивление всех элементов цепи. Рассчитывается полное суммарное сопротивление всех элементов цепи по формуле 5.6.

$$Z_{\text{сум}} = \sqrt{x_{\text{сум}}^2 + r_{\text{сум}}^2} \quad (5.6)$$

$$Z_{\text{сум}} = \sqrt{13,5^2 + 8,41^2} = 15,9 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}$$

Расчет тока короткого замыкания рассчитывается по формуле 5.7.

$$I_K = \frac{E}{(\sqrt{3} \cdot Z_{\text{сум}})} \quad (5.7)$$

$$I_K = \frac{0,4}{(\sqrt{3} \cdot 15,9 \cdot 10^{-3})} = 14,5 \text{ кА}$$

Ударный ток короткого замыкания рассчитывается по формуле 5.8.

$$i_{\text{уд}} = \sqrt{2} \cdot I_K \cdot K_{\text{уд}} \quad (5.8)$$

где: $K_{\text{уд}}$ – ударный коэффициент, принимается равным 1,85.

$$i_{\text{уд}} = \sqrt{2} \cdot 14,5 \cdot 1,85 = 38 \text{ кА}$$

Также необходимо рассчитать ток короткого замыкания и ударный ток, протекающий на участке линии К1. Расчет выполняется по формуле 5.9.

$$I_{K1} = I_K \cdot \frac{U_6}{U_H} \quad (5.9)$$

$$I_{K1} = 14,5 \cdot \frac{0,4}{6,3} = 0,92 \text{ кА}$$

$$i_{\text{уд}} = \sqrt{2} \cdot 0,92 \cdot 1,85 = 2,41 \text{ кА}$$

Ток протекающий на участке линии К1 оказался относительно не большим из-за понижающего трансформатора. Результаты расчетов токов короткого замыкания сводятся в таблицу 5.2.

Таблица 5.2 Результаты расчетов токов короткого замыкания.

Участок	I_K , кА	$i_{\text{уд}}$, кА
В точке КЗ	14,5	38
Кабельная линия 1	0,92	2,41

Вывод: в данном разделе проведен расчет токов короткого замыкания, а также ударных токов на стороне 0,4 кВ.

6. Проверка выбранного оборудования

6.1 Проверка оборудования панели ЩО70-1-08У3

Проверка автоматических выключателей на стороне ниже 1000 вольт производится по следующим условиям:

$$U_{\text{ном.р}} \leq U_{\text{ном}}$$

$$I_{\text{р.мах}} \leq I_{\text{ном.выкл}}$$

$$I_{\text{кз}} \leq I_{\text{откл}}$$

Произведем проверку автоматического DPX3 250 250А 70 кА имеющего следующие паспортные характеристики: $U_{\text{ном}}=380\text{В}$; $I_{\text{ном.выкл}}=250\text{А}$; $I_{\text{откл}}=70\text{кА}$. результаты проверки приводятся в таблице 6.1.

Таблица 6.1 – проверка автоматического выключателя DPX3 250 250А 70 кА

Устройство	Паспортные характеристики	Параметры линии
Автоматический выключатель DPX3 250	$U_{\text{ном}}=380\text{В}$	$U_{\text{ном}}=380\text{В}$
	$I_{\text{ном.выкл}}=250\text{А}$	$I_{\text{р.мах}}=245\text{А}$
	$I_{\text{откл}}=70\text{кА}$	$I_{\text{кз}}=14,5$

Таким образом выбранный автоматический выключатель удовлетворяет условиям проверки.

Разъединители должны удовлетворять следующим условиям проверки:

$$U_{\text{ном.р}} \leq U_{\text{ном}}$$

$$I_{\text{р.мах}} \leq I_{\text{ном.р}}$$

Произведем проверку рубильника S5 400А 3Р который имеет следующие паспортные данные: $U_{\text{ном}}=400\text{В}$; $I_{\text{ном.р}}=400\text{А}$.

$$U_{\text{ном.р}}=380\text{В} \leq 400\text{В} = U_{\text{ном}}$$

$$I_{\text{р.мах}}=245\text{А} \leq 400\text{А} = I_{\text{ном.р}}$$

Таким образом выбранный разъединитель S5 400А 3Р удовлетворяет условиям проверки.

Для учета электроэнергии, а также измерения показателей электрической сети выбраны счетчики Меркурий 234 ARTM с полной

рабочей мощностью $S=0,1\text{ВА}$. Выбранные счетчики предназначены для одно- или двунаправленного многотарифного учета активной и реактивной электрической энергии, и мощности, а также измерения параметров электрической сети в трехфазных трех- или четырехпроводных сетях переменного тока с последующим хранением накопленной информации, формированием событий и передачей информации в центры сбора данных систем.

Счетчики предназначены для эксплуатации внутри закрытых помещений и могут быть использованы в местах, имеющих дополнительную защиту от влияния окружающей среды (установлены в помещении, в шкафу, в щитке).

Трансформаторы тока должны удовлетворять следующим условиям проверки:

$$U_{\text{ном.р}} \leq U_{\text{ном}}$$

$$I_{\text{р.мах}} \leq I_{\text{ном}}$$

$$S_{\text{приб.}} \leq S_{2\text{ном}}$$

Произведем проверку трансформатора тока ТТИ-30 300/5 имеющий следующие паспортные данные: $I_{1\text{ном}}=300\text{А}$; $I_{2\text{ном}}=5\text{А}$; $U_{\text{ном}}=0,72\text{ кВ}$; $S_{2\text{ном}}=5\text{ВА}$.

$$U_{\text{ном.р}}=380\text{В} \leq 720\text{В} = U_{\text{ном}}$$

$$I_{\text{р.мах}}=245\text{А} \leq 300\text{А} = I_{\text{ном}}$$

$$S_{\text{приб}}=0,1\text{ВА} \leq 5\text{ВА} = S_{2\text{ном}}$$

Таким образом выбранный трансформатор тока ТТИ-30 300/5 удовлетворяет условиям проверки. Поэтому применение выбранного распределительного устройства низшего напряжения с данной комплектацией является целесообразным.

6.2 Проверка оборудования распределительного устройства RM-6 NE-III

Выбранные выключатели нагрузки должны удовлетворять следующим условиям проверки:

$$U_{\text{ном}} \leq U_{\text{сет.ном}}$$

$$I_{\text{раб}} \leq I_{\text{ном}}; I_{\text{max}} \leq I_{\text{ном}}$$

$$I_{\text{п.о}} \leq I_{\text{вкл.норм}}; i_{\text{уд}} \leq i_{\text{вкл.норм}}$$

$$B_{\text{к расч}} \leq B_{\text{к выкл}}$$

Для того что бы рассчитать рабочий и максимальный рабочий ток используются формулы 6.1 и 6.2.

$$I_{\text{раб}} = \frac{S_{\text{T.ном}}}{\sqrt{3}U_{\text{ном}}} \quad (6.1)$$

$$I_{\text{max}} = 1,4 \cdot I_{\text{раб}} \quad (6.2)$$

$$I_{\text{раб}} = \frac{630}{\sqrt{3} \cdot 6} = 60,6 \text{ A}$$

$$I_{\text{max}} = 1,4 \cdot 60,6 = 84,8 \text{ A}$$

Для проверки на термическую стойкость необходимо рассчитать интеграл Джоуля, который рассчитывается по формуле 6.3.

$$B_{\text{к}} = I_{\text{н.о}}^2 \cdot (t_{\text{откл}} + T_{\text{а.э}}) \quad (6.3)$$

где $t_{\text{откл}}$ – расчетная продолжительность короткого замыкания в электроустановке, согласно ПУЭ складывается из времени действия релейной защиты и времени отключения выключателя; $T_{\text{а.э}}$ – эквивалентная постоянная времени затухания аperiodической составляющей тока короткого замыкания.

$$B_{\text{к.расч}} = (0,92 \cdot 10^3)^2 \cdot (0,065 + 0,03) = 0,08 \cdot 10^6 \text{ A}^2 \text{ c}$$

$$B_{\text{к.выкл}} = (20 \cdot 10^3)^2 \cdot (0,065 + 0,03) = 38 \cdot 10^6 \text{ A}^2 \text{ c}$$

Полученные для проверки значения, вместе с номинальными значениями выключателей и условиями проверки сводятся в таблицу 6.2.

Таблица 6.2 – Полученные значения для выключателей РУВН

Расчетные данные	Выключатель 1	Выключатель 2	Условия проверки
$U_{\text{ном}}=6 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном}}=6 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном}}=6 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном}} \leq U_{\text{сет.ном}}$

$I_{\text{раб}}=60,6 \text{ А}$	$I_{\text{НОМ}}=630 \text{ А}$	$I_{\text{НОМ}}=200 \text{ А}$	$I_{\text{раб}} \leq I_{\text{НОМ}}$
---------------------------------	--------------------------------	--------------------------------	--------------------------------------

Продолжение таблицы 6.2

$I_{\text{max}}=84,8 \text{ А}$	$I_{\text{НОМ}}=630 \text{ А}$	$I_{\text{НОМ}}=200 \text{ А}$	$I_{\text{max}} \leq I_{\text{НОМ}}$
$I_{\text{п.о}}=0,92 \text{ кА}$	$I_{\text{ВКЛ.НОМ}}=20 \text{ кА}$	$I_{\text{ВКЛ.НОМ}}=20 \text{ кА}$	$I_{\text{п.о}} \leq I_{\text{ВКЛ.НОМ}}$
$i_{\text{уд}}=2,41 \text{ кА}$	$I_{\text{ВКЛ.НОМ}}=20 \text{ кА}$	$I_{\text{ВКЛ.НОМ}}=20 \text{ кА}$	$i_{\text{уд}} \leq i_{\text{ВКЛ.НОМ}}$
$V_{\text{к расч}} = 0,08 \cdot 10^6 \text{ А}^2 \text{ с}$	$V_{\text{к выкл}} = 38 \cdot 10^6 \text{ А}^2 \text{ с}$	$V_{\text{к выкл}} = 38 \cdot 10^6 \text{ А}^2 \text{ с}$	$V_{\text{к расч}} \leq V_{\text{к выкл}}$

Таким образом выбранное распределительное устройство высшего напряжения удовлетворяет условиям проверки

6.3 Проверка кабельных линий

Кабель ВБШвнг(А)-ХЛ-1 4х240 обладает следующими характеристиками: $r_0=0,077 \text{ Ом/км}$; $x_0=0,0587 \text{ Ом/км}$; $I_{\text{д.д}}=438 \text{ А}$; $Q_{\text{дд}}=70^\circ\text{С}$; $Q_{\text{кз}}=350^\circ\text{С}$.

Выбранная кабельную линию необходимо проверить на нагрев по длительно допустимому току, потери напряжения, термическую стойкость и невозгорание. Таким образом кабельная линия должна удовлетворять следующим условиям проверки:

$$I_p \leq I_{\text{д.д.}}$$

$$\Delta U \% \leq 5\%$$

$$I_k < I_{\text{терм}}$$

$$Q_k < Q$$

Значение максимального рабочего тока берется из пункта 3.1, длительно допустимый ток кабеля ВБШвнг(А)-ХЛ-1 4х240 составляет 438 Ампер.

$$I_p = 245 \leq 438 = I_{\text{д.д.}}$$

Потери напряжения в кабельной линии рассчитываются по формуле 3.8 из пункта 3.2. Выполним расчет потерь напряжения.

$$\Delta U \% = \left(\frac{137 \cdot 1000 \cdot (0,077 + 0,62 \cdot 0,0587) \cdot 0,065}{2 \cdot 400^2} \right) \cdot 100 = 0,32\%$$

$$\Delta U\% = 0,32 \leq 5\%$$

Проверка кабельных линий на термическую стойкость, а также на невозгорание при коротком замыкании выполняется в соответствии с ГОСТ 52736-2007 «Короткие замыкания в электроустановках» [20] и нормами технического проектирования.

Если $t_{\text{откл}} > 3 \cdot T_{\text{а.э}}$, тогда интеграл Джоуля рассчитывается по формуле 6.3.

$$B_{\text{к}} = I_{\text{n.o}}^2 \cdot (t_{\text{откл}} + T_{\text{а.э}}) \quad (6.3)$$

где $I_{\text{n.o}}$ – действующее значение периодической составляющей тока короткого замыкания, принимается равным $I_{\text{к}}$ рассчитанным в разделе 5.

$$B_{\text{к}} = 14,5^2 \cdot (0,16 + 0,02) = 37,8 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$$

Прежде чем выполнить проверку кабеля на термическую стойкость, необходимо выполнить проверку сечения токоведущей жилы, она должна выполнять следующее условие проверки:

$$\frac{\sqrt{B_{\text{к}}}}{C_{\text{теп}}} \leq S$$

где $C_{\text{теп}}$ – теплофизическая характеристика, для кабелей до 10 кВ с медными жилами составляет $140 \text{ А} \cdot \text{с}/\text{мм}^2$; S – сечение проводника.

$$\frac{\sqrt{37,8 \cdot 10^3}}{140} = 1,39 \leq 240$$

Ток термической стойкости кабеля рассчитывается по формуле 6.2.

$$I_{\text{терм}} = \frac{S \cdot C_{\text{теп}}}{\sqrt{t_{\text{откл}} + T_{\text{а.э}}}} \quad (6.2)$$

$$I_{\text{терм}} = \frac{240 \cdot 140}{\sqrt{0,16 + 0,02}} = 79,2 \text{ кА}$$

$$I_{\text{к}} = 14,5 < 79,2 = I_{\text{терм}}$$

Проверка кабелей на невозгорание выполняется путем сравнения конечной температуры жилы после короткого замыкания и предельно допустимой температуры нагрева при коротком замыкании. Что бы определить температуру жилу после короткого замыкания, в первую

необходимо рассчитать температуру жилы до короткого замыкания, то есть в номинальном рабочем режиме. Температура в нормальном режиме работы рассчитывается по формуле 6.3.

$$Q_H = Q_o + Q_{дд} - Q_{окр} \cdot \left(\frac{I_H}{I_{дд} \cdot K_n} \right) \quad (6.3)$$

где Q_o – температура окружающей среды; $Q_{дд}$ – длительно допустимая температура жилы кабеля; $Q_{окр}$ – температура окружающей среды, при прокладке кабеля в земле; I_H – расчетный ток линии в нормальном режиме; $I_{дд}$ – длительно допустимый ток кабельной линии; K_n – коэффициент учета условий охлаждения при параллельной прокладке кабелей, выбирается согласно ПУЭ таблица 1.3.26 [1].

$$Q_H = 20 + 70 - 15 \cdot \left(\frac{245}{438 \cdot 0,9} \right) = 46,6^\circ\text{C}$$

Коэффициент k рассчитывается по формуле 6.4.

$$k = \frac{b \cdot B_k}{S^2} \quad (6.4)$$

где b – постоянная, показывающая тепловые свойства материала токоведущей жилы.

$$k = \frac{19,58 \cdot 37,8}{240^2} = 0,013$$

Значение температуры токоведущей жилы после короткого замыкания рассчитывается по формуле 6.5.

$$Q_k = Q_H \cdot e^k + a \cdot (e^k - 1) \quad (6.5)$$

где a – величина обратная температурному коэффициенту сопротивления при 0°C .

$$Q_k = 46,6 \cdot e^{0,013} + 228 \cdot (e^{0,013} - 1) = 50,2^\circ\text{C}$$

$$Q_k = 50,2 < 350 = Q$$

Таким образом выбранная кабельная линия ВБШвнг(А)-ХЛ-1 4х240 удовлетворяет всем условиям проверки.

Вывод: в данном разделе выполнена проверка выбранного оборудования, согласно требований предъявляемым к аппаратам на основе полученных значений токов КЗ и ударных токов.

7. Расчет контура заземления, молниезащиты и системы уравнивания потенциалов

Основным документом, регламентирующим все нормы и правила заземления, молниезащиты и системы уравнивания потенциалов является ПУЭ глава 1.7. Согласно требованиям главы 1.7 ПУЭ, все нетоковедущие часть электроустановок, не находящиеся под напряжением необходимо заземлить.

7.1 Расчет контура заземления

Наружный контур целесообразно выполнить из четырех вертикальных электродов, соединенных между собой с помощью горизонтального заземлителя. Вертикальный электрод исполняется стальным прутком длиной 3 м и диаметром 18 мм из стали марки Ст3пс5. Выбранная сталь практически не подвержена коррозии, имеет высокую твердость и не имеет описания регламента по сварке. В качестве горизонтального заземлителя используется стальная полоса сечением 5x40 мм из той же марки стали. Полоса укладывается в кабельной траншее на глубине 0,7 м от нулевой отметки, на расстоянии 1 м от фундамента здания. Для обеспечения непрерывности электрических соединений, все соединения выполняются сваркой.

Расчет контура заземления выполняется по методике, приведенной в «Справочнике по проектированию электрических сетей» [21].

В первую очередь необходимо рассчитать уточненное сопротивление грунта, рассчитывается по формуле 7.1.

$$\rho = \rho_{уд} \cdot \Psi \quad (7.1)$$

где $\rho_{уд}$ – удельное сопротивление грунта, для данной местности строительства принимается 100 Ом·м; Ψ – коэффициент сезонного изменения

удельного сопротивления грунта, для данной местности принимается равным 1.1.

$$\rho = 100 \cdot 1,1 = 110 \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

Следующим шагом необходимо рассчитать сопротивление заземляющих электродов, рассчитывается по формулам 7.2 и 7.3.

$$R_B = \frac{0,366 \cdot \rho}{L} \cdot \left(\lg \frac{2 \cdot L}{0,95 \cdot d} + 0,5 \cdot \lg \frac{4 \cdot t_B + L}{4 \cdot t_B - L} \right) \quad (7.2)$$

$$R_G = \frac{0,366 \cdot \rho}{L} \cdot \lg \frac{2 \cdot L}{b \cdot t_G} \quad (7.3)$$

где L – длина заземлителя; d – внешний диаметр заземлителя; b – ширина полосы заземлителя; t_B – расстояние от поверхности земли до середины электрода; t_G – расстояние от поверхности земли до заземлителя.

$$R_B = \frac{0,366 \cdot 110}{3} \cdot \left(\lg \frac{2 \cdot 3}{0,95 \cdot 0,018} + 0,5 \cdot \lg \frac{4 \cdot 2,2 + 3}{4 \cdot 2,2 - 3} \right) = 34,3 \text{ Ом}$$

$$R_G = \frac{0,366 \cdot 110}{215} \cdot \lg \frac{2 \cdot 215}{0,05 \cdot 0,7} = 1,63 \text{ Ом}$$

Следующим шагом необходимо найти суммарное сопротивление электродов, находятся по формулам 7.4 и 7.5.

$$R_{B.сум} = \frac{R_B}{K_{ив} \cdot n} \quad (7.4)$$

$$R_{G.сум} = \frac{R_G}{K_{ип}} \quad (7.5)$$

где $K_{ив}$ – коэффициент использования вертикальных электродов, при количестве вертикальных электродов 4 шт. принимается равным 0,85; $K_{ип}$ – коэффициент использования горизонтальных электродов, при количестве вертикальных электродов 4 шт. принимается равным 0,65.

$$R_{B.сум} = \frac{34,3}{0,85 \cdot 3} = 13,5 \text{ Ом}$$

$$R_{G.сум} = \frac{1,63}{0,65} = 2,51 \text{ Ом}$$

Зная суммарное сопротивление вертикальных и горизонтальных заземлителей, можно рассчитать полное сопротивление заземляющего контура, рассчитывается по формуле 7.6.

$$R_3 = \frac{R_{в.сум} \cdot R_{г.сум}}{R_{в.сум} + R_{г.сум}} \quad (7.6)$$

$$R_3 = \frac{13,5 \cdot 2,51}{13,5 + 2,51} = 2,12 \text{ Ом}$$

Последним этапом является проверка заземляющего контура на соответствие требованиям главы 1.7 ПУЭ. Согласно требованиям главы 1.7 ПУЭ полное сопротивление заземляющего контура не должно превышать значения 4 Ом.

$$R_3 = 2,12 < 4 = R_{\text{норм}}$$

По результатам расчета видно, что сопротивления заземляющего контура соответствует требованиям главы 1.7 ПУЭ. Внешнее заземляющее устройство состоит из контура длиной 215 м и 4 вертикальных электродов, расположенных по углам контура.

7.2 Выбор исполнения внутреннего контура заземления

В соответствии с требованиями главы 1.7 ПУЭ для физкультурно-оздоровительного комплекса ТГУ наиболее целесообразно использовать систему заземления TN-C-S, принципиальная схема которой представлена на рисунке 7.1.

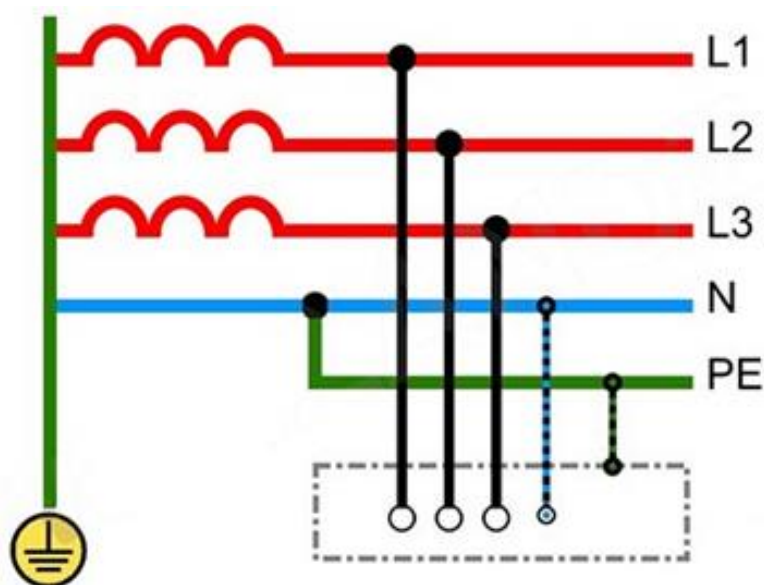


Рисунок 7.1 – Принципиальная схема системы заземления TN-C-S.

В выбранной системе глухо заземлённая нейтраль соединяется с защитным заземлением. Таким образом функция нулевого защитного и нулевого рабочего проводников совмещены в одном проводнике начиная от источника питания.

Внутренний контур заземления помещений здания физкультурно-оздоровительного комплекса ТГУ соединяется с внешним контуром не менее чем в двух местах при помощи стальной полосы 5x40 марки СтЗпс5. Соединение выполняется сваркой для обеспечения надежного электрического контакта.

7.3 Выбор исполнения системы уравнивания потенциалов

При нормальной эксплуатации потенциал на поверхностях окружающих предметов и корпусов электроустановок равны нулю, и поэтому не представляют опасности. При аварии, например, при повреждении изоляции потенциал проводящих частей может подниматься до нескольких сотен вольт, и при одновременном прикосновении человека к двум предметам с разными потенциалами возникает опасность поражения электрическим током. В случае протекания через контур заземления электрического тока, он так же оказывается под напряжением и не гарантирует необходимый уровень безопасности.

Физкультурно-оздоровительный комплекс ТГУ является объектом с повышенной влажностью, следственно высока вероятность поражения электрическим током через любые проводящие поверхности. Надежную защиту в таком случае может обеспечить система уравнивания потенциалов. Она организовывается по принципу электрического соединения все доступных для прикосновения токопроводящих частей здания с нулевым защитным проводником. В таком случае, все поверхности будут иметь одинаковый потенциал, разность их в таком случае будет равна нулю и это снижает вероятность удара электрическим током.

Согласно седьмой главы ПУЭ сечение проводников системы уравнивания потенциалов должно быть не менее половины наибольшего сечения защитного проводника электроустановки, при этом в любом случае, минимальное сечение проводника из медной жилы составляет минимум 6 мм². Таким образом для основной и дополнительной систем уравнивания потенциалов будет использоваться провод марки ПуГВ, с изоляцией, выполненной в желто-зеленом цвете и сечением токоведущей жилы 6 мм².

Выбранные провода соединяют между собой следующие токопроводящие части: нулевой защитный PEN-проводник питающей линии, металлические трубы коммуникаций, входящих в здание, металлические части каркаса здания, металлические части централизованных систем вентиляции и кондиционирования. Крепление выполняется при помощи болтового соединения. Все соединения сводятся в коробку уравнивания потенциалов КУП 40-0310-У.

Аналогичным образом выполняется и дополнительная система уравнивания потенциалов, которая применяется на всех токоведущих частях особо влажных помещений (душевая, помещение чаши бассейна, сауна, помещение санузлов).

7.4 Выбор исполнения молниезащиты

Физкультурно-оздоровительного комплекс ТГУ относится к III категории объектов молниезащиты, поэтому в соответствии с нормативным документом РД 34.21.122-87 «Инструкции по молниезащите зданий и сооружений» [18], целесообразно будет в качестве молниезащиты использовать молниеприёмную сетку.

Сетка выполняется из стальной оцинкованной проволоки диаметром 8 мм. Укладывается сетка на кровле с шагом 10 м на специальных держателях с шагом, исключая провис проволоки. Для надежного соединения в узлах сетки используются монтажные болтовые соединения. Нетоковедущие

части электрооборудования, размещенного на кровле соединяются с молниеприемной сеткой.

Молниеприемное устройство соединяется с контуром заземления стальной оцинкованной проволокой диаметром 8 мм. Токоотводы соединяются с контуром заземления при помощи сварки.

Вывод: в данном разделе спроектирована схема внешнего и внутреннего контура заземления, выбраны материалы исполнения. Также спроектирована основная и дополнительная система уравнивания потенциалов, выполненные проводами ПуГВ с сечением жилы 6 мм² для обеспечения должного уровня электробезопасности в особо влажных помещениях. В конце спроектирована система молниезащиты объекта выпускной квалификационной работы

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной выпускной квалификационной работе составлены проектные решения по электроснабжению физкультурно-оздоровительного комплекса Тольяттинского государственного университета.

Спроектирована схема освещения основного, аварийного и наружного освещения. Выбраны светильники и прожектора, на базе каталогов отечественного производителя ЛАЙТЕН. Для освещения чаши бассейна прожектора L-Banner 96, для освещения полов вокруг чаши бассейна светильники L-industry new 12. В остальных помещениях приняты светильники марок RKL LED-1, ARCTIC LED-1, ECO LED-1, MARS LED-1. Наружное освещение выполнено сборными опорами NOV4 LED с встроенными светодиодными светильниками. Произведен светотехнический расчет при помощи программы DIALux, нормы освещённости приняты в соответствии СП 52.13330.2016.

Спроектирована силовая сеть для подключения инженерных систем, а также рассчитаны электрические нагрузки. На основании полученных расчетов произведен выбор марки кабелей, питающих потребители. Для потребителей первой категории надежности электроснабжения выбраны кабели марки ППГнг-FRHF, для остальных потребителей выбраны кабели ППГнг-НГ отвечающие также всем нормам и требованиям. После чего все провода были проверены по условиям падения напряжения и длительно допустимых токов. Все выбранные сечения удовлетворяли условиям проверки.

Выбраны распределительные щиты, а также оборудование вводного распределительного устройства. Для распределения электроэнергии от главных распределительных щитов до потребителей, приняты щиты марки ЩРн со степенью защиты IP54. В качестве главных распределительных щитов к установке приняты панели ВРУ-1-49-00-А-УХЛ4 в количестве 2

панелей, а в качестве вводного распределительного устройства принята панель ВРУ-1-11-10-А-УХЛ4.

Внешнее электроснабжение физкультурно-оздоровительного комплекса ТГУ осуществляет комплектная трансформаторная подстанция 2БКТП-630/6/0,4 имеющая в своей комплектации: силовой трансформатор ТМГ12 630/6/0,4; распределительное устройство высшего напряжения РМ-6 НЕ-ИДИ; распределительное устройство низшего напряжения ЩО70-1-08У3. В качестве кабельных линий, питающих физкультурно-оздоровительный комплекс ТГУ выбраны кабели марки ВБШвнг(А)-ХЛ-1 4х240.

Для проверки выбранного оборудования были произведены расчёты токов короткого замыкания на стороне 0,4 кВ. Расчеты велись в именованных единицах. По полученным значениям проверена вся выбранная аппаратура, всё оборудование удовлетворяло условиям проверки.

Для обеспечения электробезопасности посетителей и обслуживающего персонала спроектирована система внутреннего и наружного контуров заземления, основная и дополнительная системы уравнивания потенциалов, а также система молниезащиты. Контур заземления выполнен из стали марки Ст3пс5, прутковыми электродами длиной 3 м и диаметром 18 мм и полос сечением 5х40 мм. Системы уравнивания потенциалов выполнена проводами ПуГВ. В качестве молниеприемников выбрана сетка с шагом 10х10 м из оцинкованной проволоки диаметром 8 мм. Выбранные схемы соответствуют требованиям нормативных документов и отвечают необходимым требованиям ПУЭ.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Правила устройства электроустановок. М: Энергоатомиздат, 2015. 330 с.
2. СО 153-34.21.122-2003. Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций. М.: Министерство энергетики РФ, 2003. 29 с.
3. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95. Введ. 2017-08-05. М.: Минрегион России, 2017. 134 с.
4. Вахнина В.В., Черненко А.Н. Проектирование систем электроснабжения // Электронное учебное пособие. Тольятти: ТГУ, 2016. URL: <https://dspace.tltsu.ru/handle/123456789/2976>
5. Вахнина В.В. Самолина О.В. Черненко А.Н. Требования к выпускной квалификационной работе бакалавров // Электронное учебное пособие. Тольятти: ТГУ, 2016. URL: <https://dspace.tltsu.ru/handle/123456789>
6. Каталог светильников специального назначения. ООО ТПК «ЛАЙТЕН» [Электронный ресурс] URL: <https://light-en.ru/category/specialnoe-reshenie/> (дата обращения 13.02.2020).
7. Control and Automation of Electrical Power Distribution Systems / James Northcote-Green, Robert G. Wilson, James Northcote-Green, Robert G. Wilson, 2006. 488 p.
8. Reliability of the U.S. Electricity System: Recent Trends and Current Issues. / Julie Osborn and Cornelia Kawann, 2009. [Electronic resource] URL: <https://emp.lbl.gov/sites/all/files/report-lbnl-47043.pdf> (date of exposure: 21.01.2020).
9. DOAJ (Directory of Open Access Journals): ANALYSIS OF OPTIMUM OPERATING MODES OF POWER TRANSFORMERS UNDER OPERATING CONDITIONS / I. V. Khomenko , S. K. Berezka , I. V. Poliakov , 2016.

[Electronic resource] URL: <https://www.doaj.org/article/15a70e6550f14db2a6ec0> (date of exposure: 28.01.2020).

10. ЕЕР (Electrical Engineering Portal): Five switching devices you are likely to spot in most of the low voltage switchgears, 2016. [Electronic resource] URL: <https://electrical-engineering-portal.com/switching-devices-low-voltage-switchgears> (date of exposure: 28.01.2020)

11. Winders J.J. Power Transformers: Principles and Applications. New York : Marcel Dekker, 2007. 298 p.

12. Каталог ВРУ. «Стандарт-Энерго» [Электронный ресурс] URL: https://st-en.ru/catalog/vru/vru_1/ (дата обращения 02.02.2020).

13. Каталог автоматических выключателей. «LEGRAND» [Электронный ресурс] URL: <https://samara.www-legrand.ru/avtomaty/> (дата обращения 12.03.2020).

14. Каталог кабелей ППГнг(А)-FRHF. АО «Энергокабель» [Электронный ресурс] URL: <http://www.energokab.ru/katalog/silovye-kabeli-3kv/ng-frhf/> (дата обращения 13.03.2020).

15. Каталог кабелей ППГнг(А)-HF. АО «Энергокабель» [Электронный ресурс] URL: <http://www.energokab.ru/katalog/silovye-kabeli-3kv/ng-frhf/> (дата обращения 13.03.2020).

16. Каталог щитов ППУ. «МЕС-Электро» [Электронный ресурс] URL: <https://meselectro.ru/schitovoe-oborudovanie/ppu-panel-pozharnykh-ustroystv> (дата обращения 06.04.2020).

17. Каталог комплектных трансформаторных подстанций. ООО «Энергия-Казань» [Электронный ресурс] URL: <http://www.xn----8sbajjperwiz6mb7a.xn--p1ai/catalog/> (дата обращения 10.04.2020).

18. Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений РД 34.21.122-87. ГОСЭНЕРГОНАДЗОР [Электронный ресурс] URL: https://zandz.com/ru/pravila_zazemleniya/rd-34-21-122-87.html/ (дата обращения 12.03.2020).

19. Технический циркуляр №16/2007 от 14.09.2007 г. «О прокладке взаиморезервируемых кабелей в траншеях». Ассоциация «РОСЭЛЕКТРОМОНТАЖ» [Электронный ресурс] URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293810/4293810886.htm> (дата обращения 03.04.2020).

20. ГОСТ 52736-2007 «Короткие замыкания в электроустановках». ОАО "НТЦ электроэнергетики" [Электронный ресурс] URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200052839> (дата обращения 03.03.2020).

21. Справочник по проектированию электрических сетей. И.Г. Карапетян, 2012. 376 с.