

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

Институт химии и энергетики

(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»

(наименование)

13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

(код и наименование направления подготовки / специальности)

Электроснабжение

(направленность (профиль) / специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Проектирование системы электроснабжения физкультурно-оздоровительного комплекса

Обучающийся

Д.А. Ратников

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

д.т.н., профессор, А.А. Кувшинов

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

Тольятти 2024

Аннотация

Выпускная квалификационная работа 48 страниц, 8 рисунков, 9 таблиц, 20 источников.

Ключевые слова: электроснабжение, физкультурно-оздоровительный комплекс, помещение, потребитель, освещение, оборудование, нагрузка, безопасность.

Объект исследования: физкультурно-оздоровительный комплекс.

Предмет исследования: электроснабжение физкультурно-оздоровительного комплекса.

Цель работы: проектирование качественного электроснабжения физкультурно-оздоровительного комплекса.

Актуальность темы работы обусловлена тем, что ввод в эксплуатацию планируемого к постройке физкультурно-оздоровительного комплекса требует обязательного обеспечения его качественного, безопасного и надежного электроснабжения. Грамотно спроектированная и правильно реализованная система электроснабжения обеспечит стабильное и безопасное функционирование физкультурно-оздоровительного комплекса и высокое качество оказываемых услуг. Физкультурно-оздоровительный комплекс будет играть очень важную роль в функционировании предприятия, так как поддержание и улучшение здоровья персонала и работников и укрепление их духовного состояния напрямую влияют на финансовую и общую успешность предприятия, повышая трудовые показатели персонала и работников, их лояльность и мотивацию.

Содержание ВКР включает в себя вопросы: характеристика физкультурно-оздоровительного комплекса и его помещений; описание электроприемников и их характеристик; исходные данные на проектирование; проектирование системы электроснабжения физкультурно-оздоровительного комплекса.

Содержание

Введение.....	4
1 Характеристика объекта, исходные данные на проектирование	7
1.1 Характеристика физкультурно-оздоровительного комплекса и его помещений	7
1.2 Описание электроприемников и их характеристик.....	8
1.3 Исходные данные на проектирование	9
2 Проектирование системы электроснабжения физкультурно-оздоровительного комплекса	13
2.1 Расчет электрических нагрузок помещений	13
2.2 Проектирование освещения помещений, расчет нагрузок с учетом освещения	16
2.3 Компенсация реактивной мощности.....	22
2.4 Выбор силовых трансформаторов и марки подстанции	24
2.5 Расчет внешнего электроснабжения, выбор кабелей питающей линии 10 кВ	26
2.6 Расчет внутреннего электроснабжения, выбор кабелей	28
2.7 Расчет токов короткого замыкания, проверка термической стойкости кабелей	33
2.8 Выбор автоматических выключателей	38
2.9 Релейная защита и автоматика	41
Заключение	46
Список используемых источников.....	47

Введение

Качественное электроснабжение общественных зданий играет важную роль в обеспечении комфорта и безопасности их посетителей и сотрудников. Для данных объектов характерны следующие особенности построения систем электроснабжения (СЭС):

- высокий уровень гармонических искажений, требующих использования анализаторов сети для выявления и устранения проблем;
- большая доля однофазных нагрузок, приводящая к несимметрии фаз и необходимости учёта этого фактора при проектировании;
- необходимость обеспечения квалифицированного персонала для обслуживания и ремонта электрооборудования.

Принципы построения схемы электроснабжения предполагают соответствие требованиям охраны окружающей среды, включая минимизацию воздействия на окружающую среду и снижение выбросов вредных веществ. В целом, электроснабжение общественных зданий требует комплексного подхода, учёта особенностей каждой категории зданий и соблюдения принципов построения схемы электроснабжения для обеспечения надёжности, качества и безопасности работы электроустановки.

Оздоровление населения, пропаганда здорового образа жизни и создание благоприятных условий для занятий спортом и оздоровления являются важными задачами в социально-общественной деятельности любого развитого современного государства. Постоянно проводится строительство новых объектов спортивной и оздоровительной инфраструктуры, а также реконструкция и модернизация действующих объектов. Различные предприятия и организации также заинтересованы в укреплении здоровья сотрудников и рабочих, а также улучшения их душевного и духовного состояния, чему напрямую способствуют регулярные занятия различными спортивными упражнениями и всевозможные

оздоровительные процедуры. Для этого предприятия и организации, как правило, стоят отдельные специализированные объекты – физкультурно-оздоровительные комплексы (ФОК), включающие множество отдельных помещений (тренажерные, гимнастические и прочие залы, спортивные площадки различных типов, бассейны, кабинеты для оздоровительных процедур различных видов, душевые, сауны и т.д.). Обязательно должен иметься врачебный кабинет для оказания консультативных услуг и неотложной медицинской помощи. ФОК играют очень важную роль в функционировании предприятий и организаций, так как поддержание и улучшение здоровья персонала и работников и укрепление их духовного состояния напрямую влияют на финансовую и общую успешность предприятий и организаций, повышая трудовые показатели персонала и работников, их лояльность и мотивацию. Введение в эксплуатацию новых строящихся ФОК требует разработки их качественного и надежного электроснабжения, с учетом современных тенденций по обеспечению высокой энергоэффективности и экологичности.

Электроснабжение физкультурно-оздоровительного комплекса – важный аспект его функционирования, обеспечивающий безопасность и комфорт посетителей. Выделяются категории потребителей по надежности электроснабжения: первая группа – потребители, перерыв в питании которых может стоить жизни людей или нанести значительный материальный ущерб (пожарные станции, системы предотвращения гибели посетителей и т.д.); вторая группа – потребители, нарушение нормальной деятельности которых может повлиять на работу важных функциональных элементов комплекса (тренажерные залы, сауны и т.д.); третья группа – потребители, допускающие перерывы для ремонта и замены поврежденной аппаратуры (вспомогательные постройки, технологические установки и т.д.). Электроснабжение ФОК должно быть надёжным, безопасным и обеспечивать бесперебойную работу всех функциональных установок.

Актуальность темы работы обусловлена тем, что ввод в эксплуатацию планируемого к постройке физкультурно-оздоровительного комплекса требует обязательного обеспечения его качественного, безопасного и надежного электроснабжения. Грамотно спроектированная и правильно реализованная система электроснабжения обеспечит стабильное и безопасное функционирование физкультурно-оздоровительного комплекса и высокое качество оказываемых услуг. Физкультурно-оздоровительный комплекс будет играть очень важную роль в функционировании предприятия, так как поддержание и улучшение здоровья персонала и работников и укрепление их духовного состояния напрямую влияют на финансовую и общую успешность предприятия, повышая трудовые показатели персонала и работников, их лояльность и мотивацию.

Объект исследования: физкультурно-оздоровительный комплекс.

Предмет исследования: электроснабжение физкультурно-оздоровительного комплекса.

Цель работы: проектирование качественного электроснабжения физкультурно-оздоровительного комплекса.

Задачи работы:

- систематизировать исходные данные на проектирование;
- спроектировать энергоэффективное освещение помещений;
- выполнить расчет электрических нагрузок;
- выбрать электрооборудование системы электроснабжения, проверить его по рабочим и аварийным режимам.

Спроектированная система электроснабжения ФОК должна соответствовать требованиям Правил устройства электроустановок (ПУЭ) и другим актуальным нормативно-техническим документам, регламентирующим правила разработки СЭС общественных объектов гражданской инфраструктуры.

1 Характеристика объекта, исходные данные на проектирование

1.1 Характеристика физкультурно-оздоровительного комплекса и его помещений

Физкультурно-оздоровительный комплекс – это специализированное сооружение, предназначенное для проведения физкультурно-оздоровительных работ, активного отдыха, учебно-тренировочной работы и спортивных соревнований работников и персонала предприятия. ФОК включает в себя различные помещения, оборудованные необходимым спортивным инвентарем, а также оборудованием для проведения оздоровительных процедур. ФОК будет являться важным объектом инфраструктуры предприятия, так как он предоставит возможность работникам и персоналу разных возрастов и способностей бесплатно и в любое время заниматься физической культурой и спортом. ФОК будет способствовать укреплению здоровья, развитию массового спорта и формированию здорового образа жизни среди работников и персонала предприятия, повышая их трудовые показатели, лояльность и мотивацию. Электроснабжение физкультурно-оздоровительного комплекса – важный аспект его функционирования, обеспечивающий безопасность и комфорт посетителей.

Планируемый к постройке ФОК будет представлять собой отдельно стоящее двухэтажное здание с 40 отдельными помещениями различного назначения. В состав помещений входят спортивно-тренажерные залы, сауна, помещение СПА-процедур, помещение медицинской помощи и диагностики, зал общей физической подготовки (ОФП), фотарий, буфет, столовая, а также различные вспомогательные помещения, обеспечивающие общее функционирование физкультурно-оздоровительного комплекса.

Далее рассматриваются основные электроприемники ФОК.

1.2 Описание электроприемников и их характеристик

Электроприёмники физкультурно-оздоровительного комплекса включают в себя разнообразные устройства и оборудование, обеспечивающие его функционирование и комфорт посетителей.

В состав основных электрических нагрузок ФОК входят электродвигатели электроприводов (ЭП) канальных вентиляторов, циркуляционного, проточного и пожарных насосов, приточная установка, электронагреватели каменки нагрева сауны, электроводонагреватели, электроосвещение. Вентиляция и кондиционирование поддерживают оптимальный микроклимат в помещениях ФОК, обеспечивая комфортную температуру и влажность воздуха, в состав систем входят вентиляторы, кондиционеры, фильтры и другое оборудование. ФОК использует электроприводы для работы различного оборудования, например, дверей, жалюзи, подъёмников и эскалаторов. Для асинхронных электродвигателей (АД), как электроприемников, характерны большие пусковые токи и высокое потребление реактивной мощности. Электроприводы систем физкультурно-оздоровительного комплекса, в состав которых входят АД, будут работать в продолжительном режиме в течение всего рабочего дневного времени ФОК. Для электронагревателей характерно высокое потребление энергии, высокие пусковые токи, отсутствие потребления реактивной мощности и повторно-кратковременный режим работы. ФОК требует качественного освещения, которое обеспечивает комфортные условия для тренировок и занятий спортом. В состав системы освещения входят различные типы светильников: потолочные, настенные, напольные и точечные. Электрическое освещение помещений предполагается выполнить на основе современных светодиодных источников света, под управлением программируемых реле (ПР), что обеспечит высокую энергоэффективность систем освещения и его полную адаптацию под конкретные условия пользования в различных помещениях, а

также обеспечит долгий срок службы источников света, их экологичность и низкие эксплуатационные расходы.

Также ФОК будет включать в себя различное технологическое оборудование, такое как тренажёры, спортивные снаряды, аудио- и видеооборудование, мультимедийные системы и прочее. Здание будет оснащено системами безопасности, такими как пожарная сигнализация, видеонаблюдение и системы контроля доступа, использовать информационные системы для учёта посещаемости, бронирования времени занятий, оплаты услуг и других функций. Таким образом, электроприёмники обеспечивают общее функционирование ФОК и комфорт посетителей, поддерживая работу различных систем и оборудования.

1.3 Исходные данные на проектирование

Согласно проектной документации на строительство ФОК, в таблице 1 систематизированы данные по помещениям (наименования помещений, номинальные мощности электроприемников, категории надежности электроснабжения, коэффициенты спроса на грузок и мощности).

Таблица 1 – Данные по помещениям ФОК

№ на плане	Помещения	$P_{ном}$, кВт	Категор. надежн.	K_c	$\cos\varphi$
1	Лестничная клетка	4,9	2	0,15	0,87
2	Спортивно-тренажерный зал	42,8	2	0,7	0,89
3	Электрощитовая	35,2	1	0,9	0,87
4	Лестничная клетка	4,9	2	0,15	0,87
5	Гардеробная	3,8	3	0,2	0,94
6	Кладовая	3,6	3	0,1	0,94
7	Хозяйственный блок	5,9	2	0,65	0,9
8	Сауна	25,1	2	0,7	0,97
9	Тренажерный зал	11,9	2	0,3	0,89

Продолжение таблицы 1

№ на плане	Помещения	$P_{ном}$, кВт	Категор. надежн.	K_c	$\cos\varphi$
10	Загрузочно-тарная столовой	19,2	2	0,5	0,8
11	Кладовая столовой	3,5	3	0,1	0,94
12	Хранилище спортивного инвентаря	5,8	3	0,65	0,94
13	Помещение СПА-процедур	4,2	2	0,1	0,96
14	Тамбур	3,8	2	0,3	0,92
15	Вентшахта	11	1	0,9	0,86
16	Помещение медицинской помощи и диагностики	25,9	1	0,2	0,91
17	Тамбур служебный	3,8	2	0,3	0,92
18	Коридор	5,9	2	0,3	0,92
19	Тренажерный зал	8,4	2	0,4	0,89
20	Гардеробная	4	3	0,1	0,94
21	Санузел	3,8	2	0,7	0,89
22	Душевая	7,9	2	0,4	0,91
23	Хранилище спортивного инвентаря	3,7	2	0,1	0,94
24	Лестничная клетка	4,9	2	0,15	0,87
25	Коридор	5,8	2	0,3	0,92
26	Коридор	5,8	2	0,3	0,92
27	Тренажерный зал	8,4	2	0,7	0,89
28	Зал ОФП	14,5	2	0,7	0,92
29	Вентшахта	10,8	1	0,9	0,86
30	Кладовая	3,8	3	0,1	0,94
31	Санузел	3,6	3	0,7	0,89
32	Фотарий	12,4	2	0,7	0,93
33	Спортивный зал	14,2	2	0,7	0,89
34	Лестничная клетка	4,9	2	0,15	0,87
35	Коридор	5,8	2	0,3	0,92
36	Буфет	5,6	2	0,65	0,92
37	Моечная	11,8	2	0,6	0,94
38	Загрузочно-разделочная столовой	21,4	2	0,5	0,82
39	Столовая	31,4	2	0,2	0,96
40	Душевая	11,6	2	0,4	0,91

План помещений ФОК приведен на рисунке 1.

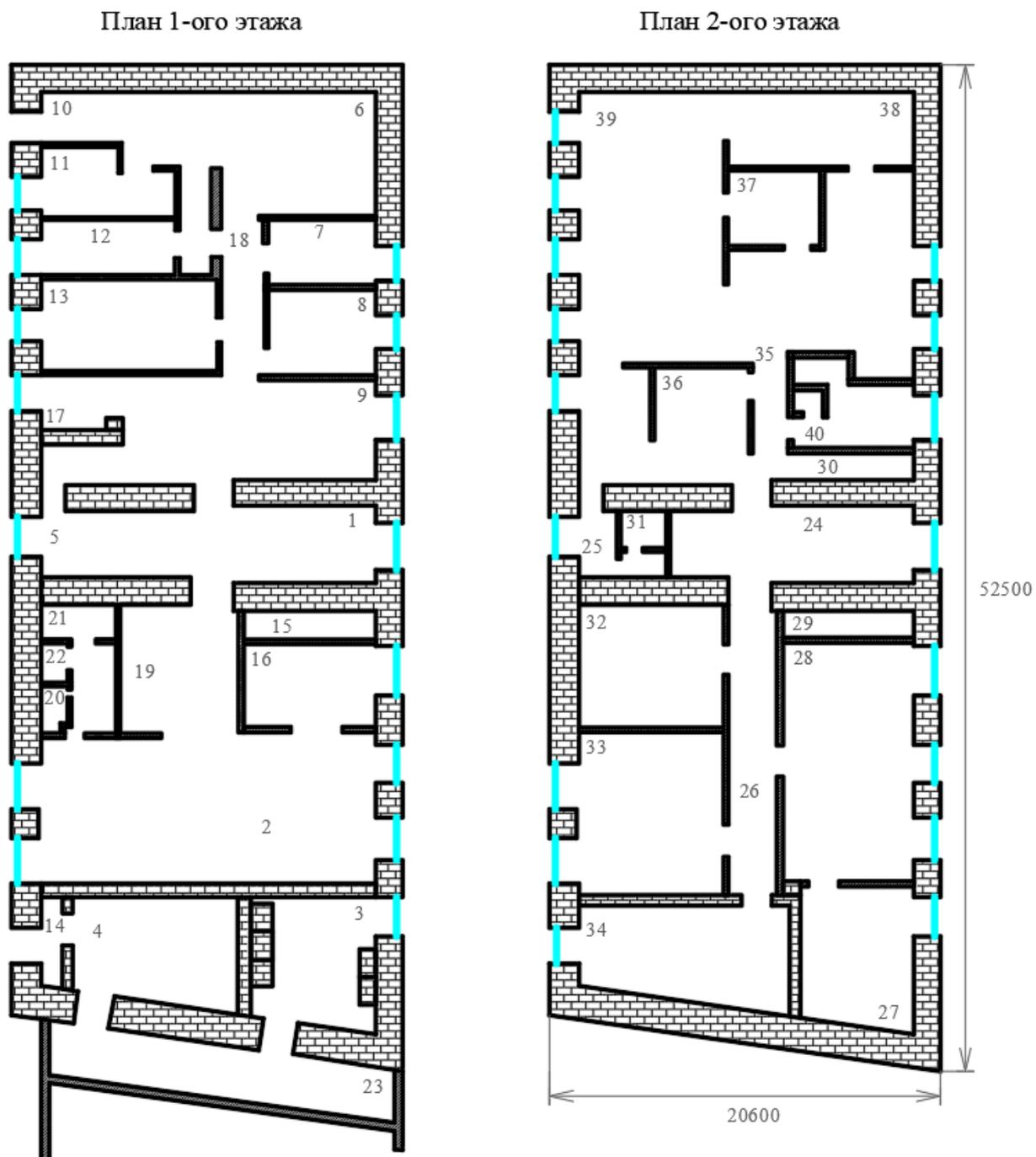


Рисунок 1 – План помещений ФОК

Электроснабжение помещений ФОК будет обеспечиваться от распределительных щитков наружной установки (ЩРН) и распределительных коробок (ПК), установленных на стенах помещений.

ЩРН и РК будут запитаны от этажных распределительных пунктов (РП), а электроснабжение здания в целом будет выполнено от собственной трансформаторной подстанции (ТП) 10/0,4 кВ, запитанной от РП 10 кВ энергосистемы, расположенном на расстоянии 1,651 км. Электрическая сеть внутри ФОК будет выполнена кабелями, проложенными в защитных коробах по стенам и в полах помещений.

Выводы.

Ввод в эксплуатацию планируемого к постройке физкультурно-оздоровительного комплекса требует обязательного обеспечения его качественного, безопасного и надежного электроснабжения. Грамотно спроектированная и правильно реализованная система электроснабжения обеспечит стабильное и безопасное функционирование физкультурно-оздоровительного комплекса и высокое качество оказываемых услуг. Планируемый к постройке ФОК будет представлять собой отдельно стоящее двухэтажное здание с 40 отдельными помещениями различного назначения. В состав помещений входят спортивно-тренажерные залы, сауна, помещение СПА-процедур, помещение медицинской помощи и диагностики, зал ОФП, фотарий, буфет, столовая, а также различные вспомогательные помещения, обеспечивающие общее функционирование физкультурно-оздоровительного комплекса. Электроприёмники физкультурно-оздоровительного комплекса включают в себя разнообразные устройства и оборудование, обеспечивающие его функционирование и комфорт посетителей. Согласно проектной документации на строительство, систематизированы данные по помещениям (наименования помещений, номинальные мощности электроприемников, категории надежности электроснабжения, коэффициенты спроса нагрузок и мощности). Электроснабжение помещений ФОК будет обеспечиваться от ЩРН и РК, установленных на стенах помещений, которые будут запитаны от этажных РП. Электроснабжение здания в целом будет выполнено от собственной ТП 10/0,4 кВ, запитанной от РП 10 кВ энергосистемы.

2 Проектирование системы электроснабжения физкультурно-оздоровительного комплекса

2.1 Расчет электрических нагрузок помещений

Электрические нагрузки помещений – это важный аспект проектирования и эксплуатации электрической сети. Они определяют мощность и ток, необходимые для обеспечения электроэнергией всех потребителей в здании. Расчет электрических нагрузок помогает выбрать подходящее оборудование, оптимизировать затраты на электроэнергию и обеспечить надёжное электроснабжение [10]. Разработка электропроекта также обязательна для согласования в энергосбыте и надзорных органах. Профессионально выполненный расчёт электрических нагрузок позволяет точно оценить имеющиеся мощности и спрогнозировать будущие потребности, что важно для построения схемы электроснабжения всего объекта.

«Для расчета актуальных электрических нагрузок помещений используется метод коэффициента спроса активной мощности.

Формулы для расчета средневзвешенных активных, реактивных и полных нагрузок по помещениям:

$$P_c = K_c \cdot P_{ном}, \quad (1)$$

где K_c – коэффициент спроса активной нагрузки;

$P_{ном}$ – нагрузка электроприемников, кВт» [1]:

$$Q_c = P_c \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (2)$$

$$S_c = \sqrt{P_c^2 + Q_c^2}. \quad (3)$$

Для помещения №1, по (1,2,3):

$$P_c = 0,15 \cdot 4,9 = 0,735 \text{ кВт},$$

$$Q_c = 0,735 \cdot 0,567 = 0,417 \text{ квар},$$

$$S_c = \sqrt{0,735^2 + 0,417^2} = 0,845 \text{ кВА}.$$

Электроснабжение помещений ФОК будет обеспечиваться от ЩРН и РК, установленных на стенах помещений, которые будут запитаны от этажных РП. Нагрузки определены в таблице 2.

Таблица 2 – Определение нагрузок помещений

№ на плане	Помещения	$P_{\text{ном}}$, кВт	$\cos\varphi$	$\operatorname{tg}\varphi$	Средняя нагрузка		
					P_c , кВт	Q_c , квар	S_c , кВА
1	Лестничная клетка	4,9	0,87	0,567	0,735	0,417	0,845
2	Спортивно-тренажерный зал	42,8	0,89	0,512	29,960	15,349	33,663
3	Электрощитовая	35,2	0,87	0,567	31,680	17,954	36,414
4	Лестничная клетка	4,9	0,87	0,567	0,735	0,417	0,845
5	Гардеробная	3,8	0,94	0,363	0,76	0,28	0,81
6	Кладовая	3,6	0,94	0,363	0,36	0,13	0,38
7	Хозяйственный блок	5,9	0,9	0,484	3,835	1,86	4,26
8	Сауна	25,1	0,97	0,251	17,57	4,40	18,11
9	Тренажерный зал	11,9	0,89	0,512	3,57	1,83	4,01
10	Загрузочно-тарная столовой	19,2	0,8	0,750	9,6	7,20	12,00
11	Кладовая столовой	3,5	0,94	0,363	0,35	0,13	0,37
12	Хранилище спортивного инвентаря	5,8	0,94	0,363	3,77	1,37	4,01
13	Помещение СПА-процедур	4,2	0,96	0,292	0,42	0,12	0,44
14	Тамбур	3,8	0,92	0,426	1,14	0,49	1,24
15	Вентшахта	11	0,86	0,593	9,900	5,874	11,512
16	Помещение медицинской помощи и диагностики	25,9	0,91	0,456	5,180	2,360	5,692
17	Тамбур служебный	3,8	0,92	0,426	1,14	0,49	1,24
18	Коридор	5,9	0,92	0,426	1,77	0,75	1,92
19	Тренажерный зал	8,4	0,89	0,512	3,360	1,721	3,775

Продолжение таблицы 2

№ на плане	Помещения	$P_{ном},$ кВт	$\cos\varphi$	$tg\varphi$	Средняя нагрузка		
					$P_c,$ кВт	$Q_c,$ квар	$S_c,$ кВА
20	Гардеробная	4	0,94	0,363	0,4	0,15	0,43
21	Санузел	3,8	0,89	0,512	2,660	1,363	2,989
22	Душевая	7,9	0,91	0,456	3,160	1,440	3,473
23	Хранилище спортивного инвентаря	3,7	0,94	0,363	0,37	0,13	0,39
Σ РП-1	Итого по РП1	249	0,532	0,91	0,462	132,425	66,213
24	Лестничная клетка	4,9	0,87	0,567	0,735	0,417	0,845
25	Коридор	5,8	0,92	0,426	1,74	0,74	1,89
26	Коридор	5,8	0,92	0,426	1,74	0,74	1,89
27	Тренажерный зал	8,4	0,89	0,512	5,88	3,01	6,61
28	Зал ОФП	14,5	0,92	0,426	10,15	4,32	11,03
29	Вентшахта	10,8	0,86	0,593	9,720	5,768	11,302
30	Кладовая	3,8	0,94	0,363	0,38	0,14	0,40
31	Санузел	3,6	0,89	0,512	2,520	1,291	2,831
32	Фотарий	12,4	0,93	0,395	8,68	3,43	9,33
33	Спортивный зал	14,2	0,89	0,512	9,94	5,09	11,17
34	Лестничная клетка	4,9	0,87	0,567	0,735	0,417	0,845
35	Коридор	5,8	0,92	0,426	1,74	0,74	1,89
36	Буфет	5,6	0,92	0,426	3,64	1,55	3,96
37	Моечная	11,8	0,94	0,363	7,080	2,570	7,532
38	Загрузочно-разделочная столовой	21,4	0,82	0,698	10,7	7,47	13,05
39	Столовая	31,4	0,96	0,292	6,280	1,832	6,542
40	Душевая	11,6	0,91	0,456	4,640	2,114	5,099
Σ РП-2	Итого по РП2	176,7	0,90	0,473	83,825	40,489	93,484
Σ	Итого	425,7	0,93	0,392	216,250	106,703	241,142

Далее проектируется энергоэффективное светодиодное освещение.

2.2 Проектирование освещения помещений, расчет нагрузок с учетом освещения

ФОК требует качественного освещения, которое обеспечивает комфортные условия для тренировок и занятий спортом. Электрическое освещение помещений предполагается выполнить на основе современных светодиодных источников света, под управлением программируемых реле, что обеспечит высокую энергоэффективность систем освещения и его полную адаптацию под конкретные условия пользования в различных помещениях, а также обеспечит долгий срок службы источников света, их экологичность и низкие эксплуатационные расходы.

«Система освещения каждого помещения рассчитывается методом коэффициента использования светового потока.

Индекс помещения:

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)}, \quad (4)$$

где A – длина, м;

B – ширина, м;

h – высота, м.

Требуемый световой поток от светильников:

$$\Phi = \frac{E \cdot S \cdot K_z \cdot Z}{K_u}, \quad (5)$$

где E – нормируемая освещенность, лк;

S – площадь помещения, м²;

K_z , Z , K_u – коэффициенты запаса, минимальной освещенности, использования светового потока.

Необходимое число светильников:

$$N = \frac{\Phi}{\Phi_c}, \quad (6)$$

где Φ_c – световой поток одного светильника, лм.

Расчет для помещения №1.

Принимаются светильники LPU 25 Вт. По (4,5,6)» [18]:

$$i = \frac{19,6 \cdot 2,7}{3,2 \cdot (19,6 + 2,7)} = 0,742,$$

$$\Phi = \frac{75 \cdot 34,2 \cdot 1,1 \cdot 1,1}{0,67} = 4632 \text{ лм,}$$

$$N = \frac{4632}{2700} \approx 2 \text{ шт.}$$

Для всех помещений результаты выбора светильников сведены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты выбора светильников

№ на плане	Помещения	$E_{нор}$, лк	N , шт	Φ_c , лм	Светильники
1	Лестничная клетка	75	2	2700	LPU 25 Вт
2	Спортивно-тренажерный зал	300	8	5300	NT-PROM 40 Л
3	Электрощитовая	300	4	2700	LPU 25 Вт
4	Лестничная клетка	75	2		
5	Гардеробная	50	6	490	Вартон 6 Вт
6	Кладовая	50	1	2700	LPU 25 Вт
7	Хозяйственный блок	300	2		
8	Сауна	300	3		
9	Тренажерный зал	75	2		
10	Загрузочно-тарная столовой	50	1		

Продолжение таблицы 3

№ на плане	Помещения	Е _{нор} , лк	N, шт	Фс, лм	Светильники
11	Кладовая столовой	50	1		
12	Хранилище спортивного инвентаря	300	3	2700	LPU 25 Вт
13	Помещение СПА-процедур	50	1		
14	Тамбур	75	2	490	Вартон 6 Вт
15	Вентшахта	50	1		
16	Помещение медицинской помощи и диагностики	300	2	5300	NT-PROM 40 Л
17	Тамбур служебный	75	2	490	Вартон 6 Вт
18	Коридор	75	4		
19	Тренажерный зал	300	3	2700	LPU 25 Вт
20	Гардеробная	50	1	490	Вартон 6 Вт
21	Санузел	300	1	2700	LPU 25 Вт
22	Душевая	300	5	490	Вартон 6 Вт
23	Хранилище спортивного инвентаря	50	5		
24	Лестничная клетка	75	1	2700	LPU 25 Вт
25	Коридор	75	5	490	Вартон 6 Вт
26	Коридор	75	5		
27	Тренажерный зал	300	4	2700	LPU 25 Вт
28	Зал ОФП	300	9		
29	Вентшахта	50	1	490	Вартон 6 Вт
30	Кладовая	50	1		
31	Санузел	300	1	2700	LPU 25 Вт
32	Фотарий	300	5		
33	Спортивный зал	300	7		
34	Лестничная клетка	75	2		
35	Коридор	75	4	490	Вартон 6 Вт
36	Буфет	300	2	2700	LPU 25 Вт
37	Моечная	300	2		
38	Загрузочно-разделочная столовой	50	1		
39	Столовая	300	10		
40	Душевая	300	12	490	Вартон 6 Вт
Наружное освещение		30	6	10600	NT-PROM 80 Л

«Линии освещения запитаны от ближайших РП и распределительных коробок. Расположение РП и распределительных коробок обусловлено схемой силовой сети электроснабжения.

План систем освещения приведен на рисунке 2.

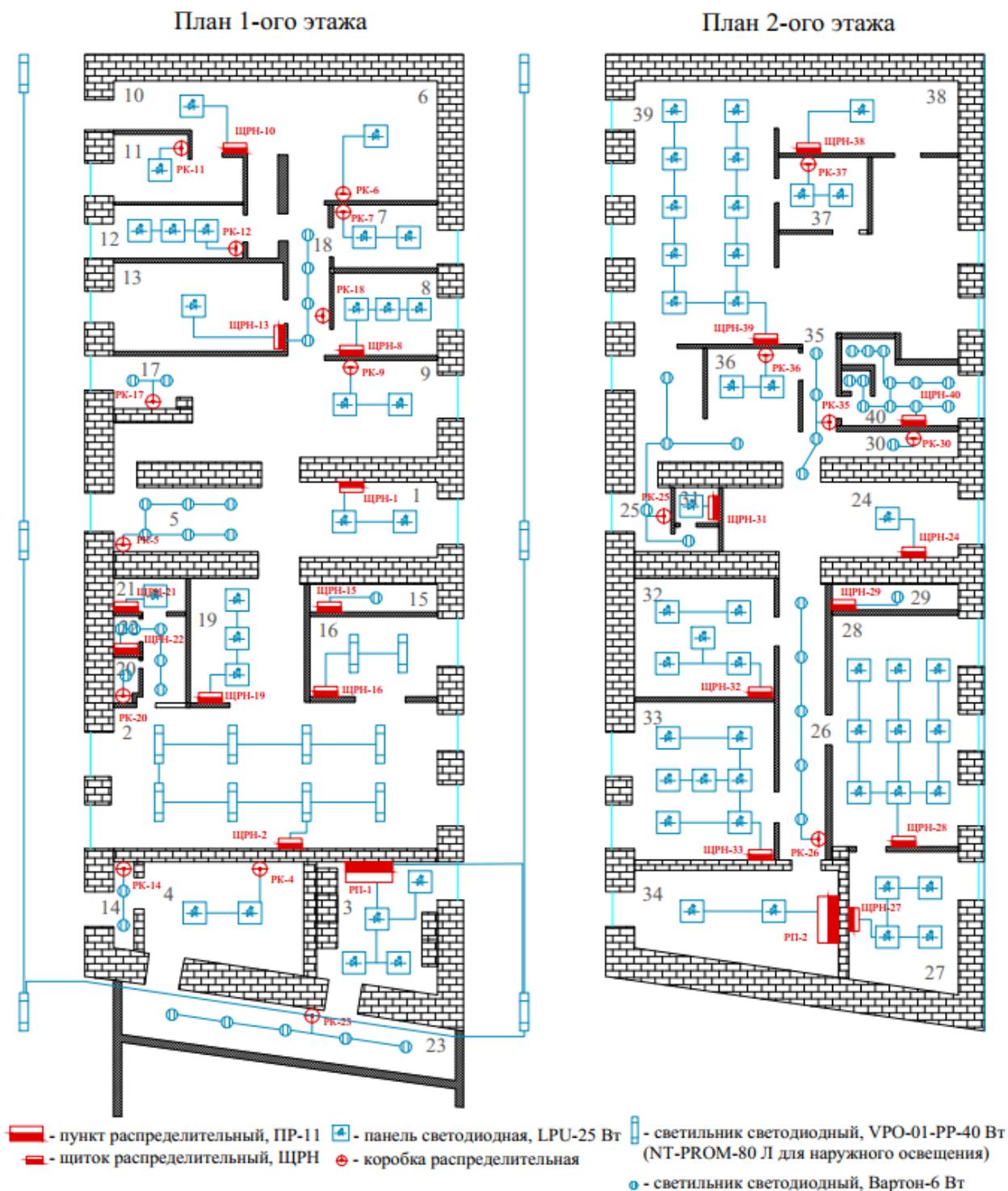


Рисунок 2 – План систем освещения

Нагрузка освещения учитывается в общей нагрузке. Пример расчета для помещения №1.

Осветительная нагрузка, с учетом числа и мощности светильников:

$$P_o = 2 \cdot 0,025 = 0,05 \text{ кВт},$$

$$Q_o = 0,05 \cdot 0,33 = 0,017 \text{ квар}.$$

Нагрузки помещения с освещением:

$$P_p = 0,735 + 0,05 = 0,785 \text{ кВт},$$

$$Q_p = 0,417 + 0,017 = 0,434 \text{ квар},$$

$$S_p = \sqrt{0,785^2 + 0,434^2} = 0,897 \text{ кВА}.$$

Расчет нагрузок помещений (с учетом освещения) – в таблице 4» [18].

Таблица 4 – Расчет нагрузок помещений

Участок	Р _о , кВт	Q _о , квар	Р _{ро} , кВт	Q _{ро} , квар	Sp _о , кВА
Лестничная клетка	0,050	0,017	0,785	0,434	0,897
Спортивно-тренажерный зал	0,320	0,106	30,280	15,455	33,996
Электрощитовая	0,100	0,033	31,780	17,987	36,517
Лестничная клетка	0,050	0,017	0,785	0,433	0,897
Гардеробная	0,036	0,012	0,796	0,288	0,846
Кладовая	0,025	0,008	0,385	0,139	0,409
Хозяйственный блок	0,050	0,017	3,885	1,874	4,313
Сауна	0,075	0,025	17,645	4,428	18,192
Тренажерный зал	0,050	0,017	3,620	1,845	4,063
Загрузочно-тарная столовой	0,025	0,008	9,625	7,208	12,025
Кладовая столовой	0,025	0,008	0,375	0,135	0,399
Хранилище спортивного инвентаря	0,075	0,025	3,845	1,393	4,090
Помещение СПА-процедур	0,025	0,008	0,445	0,131	0,464
Тамбур	0,012	0,004	1,152	0,490	1,252
Вентшахта	0,006	0,002	9,906	5,876	11,518

Продолжение таблицы 4

Участок	P _о , кВт	Q _о , квар	P _{ро} , кВт	Q _{ро} , квар	S _{ро} , кВА
Помещение медицинской помощи и диагностики	0,080	0,026	5,260	2,386	5,776
Тамбур служебный	0,012	0,004	1,152	0,490	1,252
Коридор	0,024	0,008	1,794	0,762	1,949
Тренажерный зал	0,075	0,025	3,435	1,746	3,853
Гардеробная	0,006	0,002	0,406	0,147	0,432
Санузел	0,025	0,008	2,685	1,371	3,015
Душевая	0,030	0,010	3,190	1,450	3,504
Хранилище спортивного инвентаря	0,030	0,010	0,400	0,144	0,425
Наружное освещение	0,480	0,158	0,480	0,158	0,505
Итого по РП1			134,11	66,77	150,58
Лестничная клетка	0,025	0,008	0,760	0,425	0,871
Коридор	0,030	0,010	1,770	0,751	1,923
Коридор	0,030	0,010	1,770	0,751	1,923
Тренажерный зал	0,100	0,033	5,980	3,045	6,711
Зал ОФП	0,225	0,074	10,375	4,398	11,269
Вентшахта	0,006	0,002	9,726	5,769	11,308
Кладовая	0,006	0,002	0,386	0,140	0,411
Санузел	0,025	0,008	2,545	1,299	2,857
Фотарий	0,125	0,041	8,805	3,472	9,465
Спортивный зал	0,175	0,058	10,115	5,150	11,351
Лестничная клетка	0,050	0,017	0,785	0,433	0,897
Коридор	0,024	0,008	1,764	0,749	1,916
Буфет	0,050	0,017	3,690	1,567	4,009
Моечная	0,050	0,017	7,130	2,586	7,585
Загрузочно-разделочная столовой	0,025	0,008	10,725	7,477	13,074
Столовая	0,250	0,083	6,530	1,914	6,805
Душевая	0,072	0,024	4,712	2,138	5,174
Итого по РП-2			87,568	42,066	97,547
Итого всего			221,68	108,84	248,14

Данные электрические нагрузки будут учитываться при дальнейшем выборе оборудования СЭС.

2.3 Компенсация реактивной мощности

Компенсация реактивной мощности (КРМ) играет важную роль в обеспечении надёжного и экономичного функционирования системы электроснабжения. Реактивная мощность вызывает дополнительные потери в проводниках, снижает пропускную способность распределительной сети и отклоняет напряжение от номинала. Для компенсации используются конденсаторные установки, которые снижают долю реактивной мощности, потребляемой из сети. Это позволяет снизить общие расходы на электроэнергию, уменьшить нагрузку на элементы распределительной сети и повысить надёжность системы. Кроме того, КРМ позволяет снизить тепловые потери тока и расходы на электроэнергию, уменьшить влияние высших гармоник и сетевых помех, а также обеспечить большую надёжность и экономичность распределительных сетей. Таким образом, компенсация реактивной мощности является важным условием экономичного и надёжного функционирования СЭС. Она позволяет снизить общие расходы на электроэнергию, продлить срок службы оборудования и повысить надёжность распределительных сетей [16].

КРМ будет реализована автоматической, на шинах 0,4 кВ подстанции.

«Требуемая мощность компенсирующих устройств (КУ):

$$Q_{к.у.} = 0,9 \cdot P_p \cdot (tg\varphi - tg\varphi_k), \quad (7)$$

где P_p – расчетная нагрузка, кВт;

$tg\varphi, tg\varphi_k$ – тангенс угла φ до КРМ и его нормативное значение.

$$Q_{к.у.} = 0,9 \cdot 221,68 \cdot (0,503 - 0,33) = 34,5 \text{ квар.}$$

Для КРМ принимается две установки АУКРМ-0,4-17,5 по 17,5 квар.

Расчет КРМ показан в таблице 5» [3].

Таблица 5 – Расчет КРМ

Показатели	$\cos\varphi$	$\operatorname{tg}\varphi$	P_p , кВт	Q_p , квар	S_p , кВА
Всего на НН без КУ	0,893	0,503	221,68	108,84	248,14
КУ, кВар	-	-	-	35	-
Всего на НН с КУ	0,949	0,333	221,68	73,84	233,65
Потери	-	-	4,67	23,37	-
Всего на ВН с КУ	-	-	226,35	97,20	246,34

«Потери в трансформаторах ТП:

$$\Delta P_m \approx 0,02 \cdot S_p, \quad (8)$$

$$\Delta P_m \approx 0,02 \cdot 233,65 = 4,67 \text{ кВт},$$

$$\Delta Q_m \approx 0,1 \cdot S_p, \quad (9)$$

$$\Delta Q_m \approx 0,1 \cdot 233,65 = 23,37 \text{ квар}.$$

Итого полная нагрузка на вводе подстанции» [12]:

$$S_p = \sqrt{226,35^2 + 97,2^2} = 246,34 \text{ кВА}.$$

Автоматическая установка компенсации реактивной мощности (АУКРМ) – это совокупность устройств, которые поддерживают значения коэффициента мощности на заданном уровне, независимо от режима работы электрических сетей. АУКРМ обеспечивает компенсацию реактивной и гармонической составляющей тока потребителей, снижает потребление реактивной мощности, повышает коэффициент мощности и снижает потери электроэнергии [5].

Согласно нагрузкам после КРМ выбираются силовые трансформаторы ТП.

2.4 Выбор силовых трансформаторов и марки подстанции

Выбор силовых трансформаторов и марки ТП – важный процесс, который влияет на надёжность и безопасность работы электрической сети. При выборе трансформаторов необходимо учитывать такие факторы, как нагрузка, область применения, тип изоляции, переключатели входного напряжения и другие параметры [4]. При выборе марки подстанции следует обратить внимание на её технические характеристики, соответствие стандартам качества и безопасности, а также на репутацию производителя. Важно также учесть условия эксплуатации и требования к установке подстанции [11].

«Требуемая мощность трансформаторов:

$$S_m \geq K_{з.н.} \cdot S_{р.к.}, \quad (10)$$

где $K_{з.н.}$ – нормативный коэффициент загрузки;

$S_{р.к.}$ – нагрузка, кВА.

$$S_m \geq 0,7 \cdot 233,65 = 172 \text{ кВА.}$$

Устанавливается 2×ТМГСУ11-250 по 250 кВА.

Коэффициент загрузки в аварийном режиме:

$$K_{з.ав.} = \frac{S_{р.к.}}{S_m}, \quad (11)$$

где S_m – номинальная мощность, кВА» [8].

$$K_{з.ав.} = \frac{233,65}{250} = 0,99 \leq 1,4.$$

«Выбирается ТП марки 2КТПН-250/10/0,4, она штатно комплектована электрооборудованием (ЭО):

- выключатели нагрузки ВНРП-10/400-10з;
- разъединители РВ-10;
- трансформаторы тока ТШЛ-0,66;
- ограничители перенапряжения ОПН-10;
- предохранители ПКТ-103;
- автоматы ВА-52-39.

Установка силовых трансформаторов осуществляется после размещения КТПН на месте установки» [15].

Внешний вид силового трансформатора серии ТМГСУ11 показан на рисунке 3.



Рисунок 3 – Силовой трансформатор серии ТМГСУ11

Трансформаторы серии ТМГСУ11 – это трёхфазные масляные трансформаторы, предназначенные для преобразования электроэнергии в

сетях энергосистем и потребителей электроэнергии. Они работают при температуре окружающей среды от +40 °С до -45 °С в умеренном климате и от +40 °С до -60 °С в холодном климате. Трансформаторы ТМГСУ11 обеспечивают поддержание симметричности фазных напряжений в сетях с неравномерной нагрузкой. Они имеют сопротивление нулевой последовательности, которое в среднем в три раза меньше, чем у трансформаторов без симметрирующего устройства [9].

2.5 Расчет внешнего электроснабжения, выбор кабелей питающей линии 10 кВ

Электроснабжение здания ФОК будет выполнено от собственной ТП 10/0,4 кВ, запитанной от РП 10 кВ энергосистемы. «Рабочий ток КЛ 10 кВ:

$$I_p = \frac{S'_p}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot n}, \quad (12)$$

где S'_p – нагрузка, кВА;

U_n – напряжение, кВ;

n – число цепей, шт.

$$I_p = \frac{246,3}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 2} = 7,11 \text{ А.}$$

Экономическое сечение жил:

$$F_{\text{эк}} = \frac{I_p}{j_{\text{эк}}}, \quad (13)$$

где $j_{\text{эк}}$ – экономическая плотность тока, А/мм².

$$F_{\text{эк}} = \frac{7,11}{1,6} = 4,4 \text{ мм}^2.$$

Принимаем кабель АПвП-3×16 мм² (наименьшее сечение на 10 кВ)»
 [19]. Ток аварийного режима, по (12):

$$I_{\text{ав}} = \frac{246,3}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 1} = 14,2 \text{ А.}$$

«Допустимый ток кабеля:

$$I'_{\text{доп}} = I_{\text{доп}} \cdot K_{\text{нов}} \cdot K_{\text{ср}} \cdot K_{\text{пон}}, \quad (14)$$

где $I_{\text{доп}}$ – паспортный ток, А;

$K_{\text{нов}}$, $K_{\text{ср}}$, $K_{\text{пон}}$ – коэффициенты недогруженности КЛ, среды и групповой прокладки.

$$I'_{\text{доп}} = 75 \cdot 1,25 \cdot 1,08 \cdot 0,93 = 94,163 \text{ А} > I_{\text{ав}}.$$

Потери напряжения в КЛ:

$$\Delta U_{\text{л}} = \frac{\sqrt{3} \cdot I_p \cdot L \cdot 100}{U_{\text{н}}} (r_0 \cdot \cos \varphi + x_0 \cdot \sin \varphi), \quad (15)$$

где I_p – максимальный ток КЛ, А;

L – длина КЛ, км;

r_0 , x_0 – удельные сопротивления кабеля, Ом/км» [13].

$$\Delta U_{\text{л}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 14,2 \cdot 1,651 \cdot 100}{10} (1,94 \cdot 0,919 + 0,102 \cdot 0,395) = 0,19 \% < 5 \%$$

Потери не превысят допустимые.

Выбранные кабели с пластмассовой изоляцией являются одним из наиболее распространённых типов кабелей, используемых в различных отраслях промышленности и строительства. Они обладают рядом преимуществ перед кабелями с другими видами изоляции, такими как бумажная или резиновая изоляция. Одним из главных преимуществ кабелей с пластмассовой изоляцией является их высокая электрическая прочность. Пластмассы, используемые для изоляции жил кабелей, обладают хорошими диэлектрическими свойствами, что позволяет им выдерживать высокие напряжения и обеспечивать надёжную работу электроустановок. Ещё одним преимуществом кабелей с пластмассовой изоляцией является их устойчивость к воздействию влаги и агрессивных сред. Пластмассы, применяемые для изоляции жил кабелей, не подвержены коррозии и гниению, что делает такие кабели долговечными и надёжными. Кабели также отличаются лёгкостью и гибкостью, что облегчает их монтаж и эксплуатацию [20].

2.6 Расчет внутреннего электроснабжения, выбор кабелей

«Электроснабжение помещений необходимо выполнить на основании ТЗ на проектирование. Необходимо обеспечить индивидуальное электроснабжение участков (радиальная схема). Для ответственных потребителей здания обеспечивается I категория электроснабжения посредством установки устройств АВР либо питания данных потребителей через источники бесперебойного питания двойного преобразования (тип – online). Для распределительной сети должна быть применена система нейтрали TN-C-S

Согласно данным требованиям, составляется схема электроснабжения помещений (рисунок 4).



Рисунок 4 – Схема электроснабжения помещений

Расчётные токи КЛ (3 фазы):

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_n}, \quad (16)$$

где S_p – полная нагрузка, кВт;

U_n – напряжение КЛ, кВ.

Расчётные токи КЛ (1 фаза):

$$I_p = \frac{S_p}{U_n}, \quad (17)$$

Для линии к ЩРН помещения №1:

$$I_p = \frac{5,632}{0,22} = 25,6 \text{ А.}$$

Принимается кабель *НУМ-3·4* с допустимым током 27 А.

Индуктивным сопротивлением проводов в сети до 1 кВ можно пренебречь» [17]. Потери напряжения в КЛ, по (15):

$$\Delta U_{л} = \frac{25,6 \cdot 26,94 \cdot 100}{0,22} (4,6 \cdot 0,87 + 0 \cdot 0,294) = 1,442 \% \leq 5 \%.$$

Для питания остальных помещений принимаются также кабели марки *НУМ*. Кабель *НУМ* – это универсальный силовой кабель, который широко используется в различных сферах благодаря своим характеристикам и преимуществам, имеет изоляцию из поливинилхлорида, которая обеспечивает надёжную защиту от механических повреждений и воздействия окружающей среды. Кабель *НУМ* подходит для различных условий монтажа, включая открытую площадку, закрытое помещение, поверх штукатурки, внутри неё и в бетоне или кирпиче. Эластичность кабеля облегчает прокладку и сокращает время монтажа протяжённых или сложных электротрасс. Промежуточный слой герметизирует электрожилы и упрощает

предмонтажную разделку изделия. Материал изоляции и оболочки не поддерживают горение и распространение пламени при монопрокладке или монтаже в группе. NYM соответствует стандартам качества и имеет 100 % идентичность фактического сечения проводников и оболочек с показателями в технической документации. Многие специалисты рекомендуют использовать NYM в проектах, соответствующих нормам и требованиям. Кабели NYM являются отличным выбором для надёжной и безопасной электропроводки благодаря своим характеристикам, универсальности и безупречной репутации.

Выбор кабелей сведен в таблицу 6.

Таблица 6 – Выбор кабелей для электроснабжения помещений

Участок, № помещения	Ip, А	Кабель	Iдоп, А	ΔU, %
ПП-1				
1	25,6	NYM-3·4	27	1,442
2	73,1	NYM-3·25	85	0,224
3	61,5	NYM-5·16	65	0,017
4	25,6	NYM-3·4	27	0,090
5	18,4	NYM-3·2,5	21	0,168
6	17,4	NYM-3·2,5	21	0,423
7	29,8	NYM-3·6	34	0,009
8	39,3	NYM-5·10	46	1,156
9	20,3	NYM-3·2,5	21	0,014
10	36,5	NYM-5·10	46	1,387
11	16,9	NYM-3·2,5	21	0,107
12	28,0	NYM-3·6	34	0,185
13	19,9	NYM-3·2,5	21	1,192
14	18,8	NYM-3·2,5	21	0,403
15	19,4	NYM-5·4	24	0,778
16	129,4	NYM-3·50	135	0,989
17	18,8	NYM-3·2,5	21	0,575
18	29,2	NYM-3·6	34	0,094

Продолжение таблицы 6

Участок, № помещения	Ip, А	Кабель	Idоп, А	ΔU, %
19	42,9	NYM-3·10	50	0,634
20	19,3	NYM-3·2,5	21	0,123
21	19,4	NYM-3·2,5	21	1,743
22	39,5	NYM-3·10	50	0,813
23	17,9	NYM-3·2,5	21	0,580
РП1-нар. осв.	2,9	NYM-3·2,5	21	0,044
ввод РП-1	245,5	NYM-5·120	250	0,906
РП-2				
24	25,6	NYM-3·4	27	1,363
25	28,7	NYM-3·6	34	0,080
26	28,7	NYM-3·6	34	0,105
27	42,9	NYM-3·10	50	0,020
28	71,6	NYM-3·25	85	0,137
29	19,1	NYM-5·4	24	0,697
30	18,4	NYM-3·2,5	21	0,019
31	18,4	NYM-3·2,5	21	1,644
32	60,6	NYM-3·16	70	0,253
33	72,5	NYM-3·25	85	0,144
34	25,6	NYM-3·4	27	0,028
35	28,7	NYM-3·6	34	0,143
36	27,7	NYM-3·6	34	0,008
37	57,1	NYM-3·16	70	0,007
38	39,7	NYM-5·10	46	1,361
39	49,7	NYM-5·16	65	0,845
40	57,9	NYM-3*4	41	1,787
ввод РП-2	154,2	NYM-5·70	175	1,245

Выбранные кабели необходимо проверить на термическую стойкость к токам КЗ.

2.7 Расчет токов короткого замыкания, проверка термической стойкости кабелей

Расчёт токов КЗ играет важную роль в обеспечении надёжности и безопасности работы электроустановок. Он проводится с целью проверки термической стойкости кабелей, а также для задания уставок релейной защиты. Для упрощения расчетов целесообразно делать допущения, такие как неучет токов намагничивания трансформаторов, симметричность трёхфазной сети и ненасыщение магнитных систем.

«Расчетная схема и схема замещения показаны на рисунке 5.

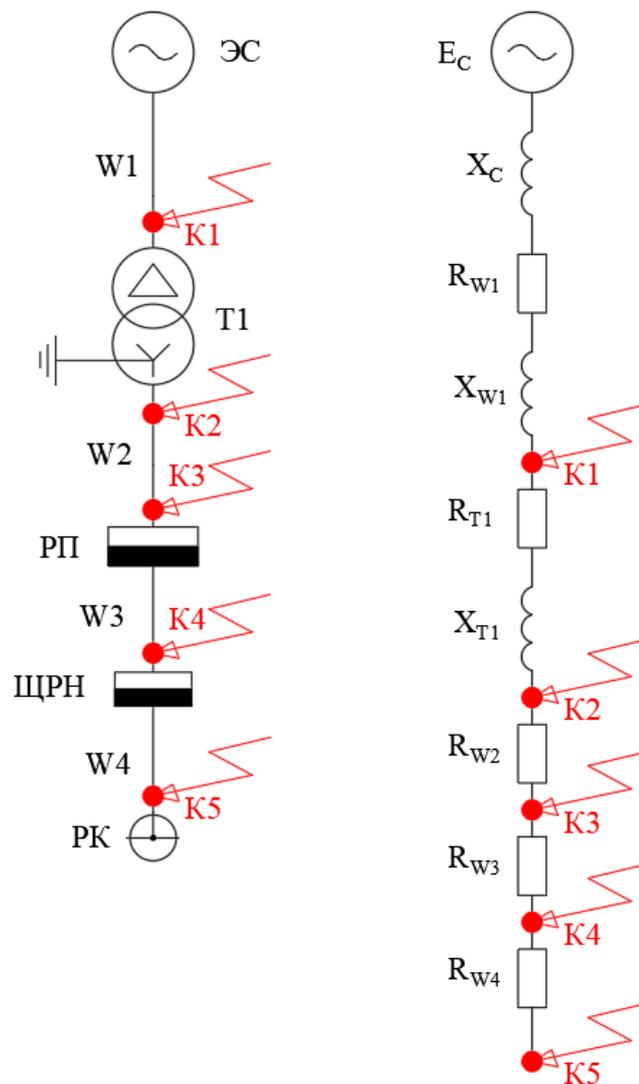


Рисунок 5 – Расчетная схема и схема замещения

Индуктивные сопротивления кабелей сети до 1 кВ пренебрежительно малы, и их можно не учитывать.

Сопротивление системы:

$$X_c = \frac{U_k}{\sqrt{3} \cdot I_{к.з.ФВД}^{(3)}}, \quad (18)$$

где U_k – напряжение КЗ, кВ;

$I_{к.з.ФВД}^{(3)}$ – трехфазный ток КЗ на питающем фидере 10 кВ, кА.

Сопротивления КЛ 10 кВ:

$$X_{w1} = x_0 \cdot L_{w1}, \quad (19)$$

$$R_{w1} = r_0 \cdot L_{w1}, \quad (20)$$

где L_{w1} – длина КЛ, км.

Сопротивления трансформатора:

$$R_m = \Delta P_k \cdot U_{н.в.}^2 / (S_n^2 \cdot 1000), \quad (21)$$

где ΔP_k – потери КЗ, кВт;

$U_{н.в.}$ – напряжение ВН, кВ;

S_n – номинальная мощность, кВА.

$$Z_m = \Delta U_k / 100 \cdot 10^2 / S_n, \quad (22)$$

где ΔU_k – потери напряжения КЗ, %.

$$X_m = \sqrt{Z_m^2 - R_m^2} \quad (23)$$

Пример расчета токов КЗ в точке К1 (шины 10 кВ) ТП.

Полное сопротивление до точки К1» [13]:

$$Z_{\kappa 1} = \sqrt{R_{\kappa 1}^2 + X_{\kappa 1}^2}, \quad (24)$$

$$X_c = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 9,361} = 0,648 \text{ Ом} = 648 \text{ мОм},$$

$$X_{w1} = 0,102 \cdot 1,651 = 0,168 \text{ Ом} = 168 \text{ мОм},$$

$$R_{w1} = 1,94 \cdot 1,651 = 3,203 \text{ Ом} = 3203 \text{ мОм},$$

$$Z_{\kappa 1} = \sqrt{3203^2 + (648 + 168)^2} = 3305 \text{ мОм}.$$

«Трёхфазный и ударный токи КЗ:

$$I_{\kappa}^{(3)} = \frac{U_{\kappa}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\kappa}}, \quad (25)$$

где U_{κ} – напряжение КЗ, кВ;

Z_{κ} – полное сопротивление цепи, Ом.

$$i_y = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I_{\kappa}^{(3)}, \quad (26)$$

где K_y – ударный коэффициент» [13].

$$I_{\kappa 0}^{(3)} = \frac{10500}{\sqrt{3} \cdot 3305} = 1,8342 \text{ кА}.$$

$$i_y = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 1,8342 = 4,6683 \text{ кА}.$$

Двухфазный и однофазный токи КЗ:

$$I_{\kappa}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{\kappa}^{(3)}, \quad (27)$$

$$I_{\kappa}^{(1)} = 0,55 \cdot I_{\kappa}^{(3)}, \quad (28)$$

$$I_{\kappa}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 1,8342 = 1,5884 \text{ кА},$$

$$I_{\kappa}^{(1)} = 0,55 \cdot 1,8342 = 1,0088 \text{ кА}.$$

Для остальных участков расчеты аналогичны, результаты расчетов для точек К1-К3 сведены в таблицу 7.

Таблица 7 – Результаты расчетов токов КЗ в точках К1-К3

Точки КЗ	$I^{(3)}_{\kappa}$, кА	I_{y} , кА	$I^{(2)}_{\kappa}$, кА	$I^{(1)}_{\kappa}$, кА
К1	1,8342	4,6683	1,5884	1,0088
К2	1,0180	1,8713	0,8816	0,5599
К3 (РП-1)	1,0179	1,8710	0,8813	0,5578
К3 (РП-2)	1,0177	1,8707	0,8813	0,5597

Результаты расчетов токов КЗ на вводах ЩРН и РК помещений приведены в таблице 8.

Таблица 8 – Результаты расчетов токов КЗ на вводах ЩРН и РК помещений

место КЗ, РК/ЩРН помещения №	$I^{(3)}_{\kappa}$, кА	I_{y} , кА	$I^{(2)}_{\kappa}$, кА	$I^{(1)}_{\kappa}$, кА
1	-	1,8206	-	0,5447
2		1,8241		0,5458
3	0,9924	1,8242	0,8594	0,5458
4	-	1,8240	-	0,5458
5		1,8237		0,5457
6		1,8227		0,5454
7		1,8242		0,5458
8	0,9914	1,8224	0,8585	0,5453
9	-	1,8242	-	0,5458
10	0,9911	1,8218	0,8583	0,5451

Продолжение таблицы 8

место КЗ, РК/ЦРН помещения №	I ⁽³⁾ _к , кА	I _у , кА	I ⁽²⁾ _к , кА	I ⁽¹⁾ _к , кА
11	-	1,8239	-	0,5457
12		1,8238		0,5457
13		1,8171		0,5437
14		1,8229		0,5454
15	0,9910	1,8217	0,8582	0,5451
16	-	1,8238	-	0,5457
17		1,8223		0,5452
18		1,8241		0,5458
19		1,8233		0,5455
20		1,8239		0,5457
21		1,8184		0,5441
22		1,8229		0,5454
23		1,8222		0,5452
24		1,8205		0,5447
25		1,8238		0,5457
26		1,8237		0,5457
27		1,8239		0,5457
28		1,8239		0,5457
29		0,9910		1,8216
30	-	1,8239	-	0,5457
31		1,8182		0,5440
32		1,8237		0,5457
33		1,8239		0,5457
34		1,8239		0,5457
35		1,8237		0,5456
36		1,8240		0,5457
37		1,8240		0,5457
38	0,9911	1,8218	0,8583	0,5451
39	0,9917	1,8229	0,8588	0,5454
40	-	1,8197	-	0,5445

«Термически стойкое сечение жил кабелей:

$$F_T = I_K^{(3)} \cdot \sqrt{t_3} / K_T, \quad (29)$$

где t_3 – время срабатывания защиты, с;

K_T – температурный коэффициент» [8].

Для точек К1 и К2 (шины 10 кВ и 0,4 кВ подстанции):

$$F_{T.K1} = 1834 \cdot \sqrt{0,05} / 95 = 4,32 \text{ мм}^2,$$

$$F_{T.K2} = 1018 \cdot \sqrt{0,03} / 165 = 1,07 \text{ мм}^2.$$

Сечения жил всех выбранных кабелей намного превышают минимальное термически устойчивое сечения, замена кабелей не требуется.

2.8 Выбор автоматических выключателей

Автоматические выключатели (АВ) – это неотъемлемая часть современной электрической сети. Они предназначены для аварийного отключения напряжения при перегрузке сети или коротком замыкании. Автоматы защищают бытовую сеть от возможных проблем, таких как перегрев проводки, возгорание и поражение электрическим током. Принцип работы автоматического выключателя напоминает обычный выключатель света. Когда АВ включён, через его клеммы проходит электрический ток, и в помещении есть напряжение. Если же автомат выключен, ток не проходит, и здание или территория обесточивается. Автомат может сработать по двум причинам: короткое замыкание или перегрузка по току. КЗ возникает, когда между фазным и нулевым проводниками появляется электрический контакт, например, при попадании короткозамкнутого провода в розетку. В этом случае ток в электропроводке достигает сотен ампер, что приводит к

срабатыванию электромагнитного расцепителя. Срабатывание происходит мгновенно, и напряжение отключается без задержки по времени.

«Выбор автоматических выключателей для защиты КЛ производится по условиям:

- по напряжению:

$$U_{ном} > U_c \quad (30)$$

- по току теплового расцепителя:

$$I_{т.р.} > 1,1 \cdot I_p \quad (31)$$

Пример выбора АВ для защиты КЛ к помещению №1.

Ток уставки теплового расцепителя:

$$I_{т.р.} > 1,1 \cdot 25,6 = 28,2 \text{ А.}$$

Выбираем АВ серии ВА-47-29 на номинальный ток 32 А. Выбор АВ для защиты КЛ силовой сети сведен в таблицу 9» [7].

Таблица 9 – Выбор автоматических выключателей

Участок, № помещения	I_p , А	$1,1 \cdot I_p$, А	Выключатель	$I_{ном}$, А
1	25,6	28,2	ВА-47-29	32
2	73,1	80,4	ВА-47-100	100
3	61,5	67,6	ВА-47-100	80
4	25,6	28,2	ВА-47-29	32
5	18,4	20,2	ВА-47-29	25
6	17,4	19,1	ВА-47-29	20
7	29,8	32,8	ВА-47-29	40
8	39,3	43,2	ВА-47-29	50
9	20,3	22,3	ВА-47-29	25

Продолжение таблицы 9

Участок, № помещения	I_p , А	$1,1 \cdot I_p$, А	Выключатель	$I_{ном}$, А
10	36,5	40,1	ВА-47-29	50
11	16,9	18,6	ВА-47-29	20
12	28,0	30,9	ВА-47-29	32
13	19,9	21,9	ВА-47-29	25
14	18,8	20,7	ВА-47-29	25
15	19,4	21,4	ВА-47-29	25
16	129,4	142,3	ВА-47-100	160
17	18,8	20,7	ВА-47-29	25
18	29,2	32,1	ВА-47-29	40
19	42,9	47,2	ВА-47-29	50
20	19,3	21,3	ВА-47-29	25
21	19,4	21,3	ВА-47-29	25
22	39,5	43,4	ВА-47-29	50
23	17,9	19,7	ВА-47-29	20
РП-1-нар. осв	2,9	3,2	ВА-47-29	4
ввод РП-1	245,5	270,1	ВА-47-29	32
24	25,6	28,2	ВА-47-29	32
25	28,7	31,5	ВА-47-29	32
26	28,7	31,5	ВА-47-29	50
27	42,9	47,2	ВА-47-100	80
28	71,6	78,8	ВА-47-29	25
29	19,1	21,0	ВА-47-29	25
30	18,4	20,2	ВА-47-29	25
31	18,4	20,2	ВА-47-100	80
32	60,6	66,7	ВА-47-100	80
33	72,5	79,8	ВА-47-29	32
34	25,6	28,2	ВА-47-29	32
35	28,7	31,5	ВА-47-29	32
36	27,7	30,4	ВА-47-100	80
37	57,1	62,8	ВА-47-29	50
38	39,7	43,6	ВА-47-29	63
39	49,7	54,7	ВА-47-100	80
40	57,9	63,7	ВА-47-29	32
ввод РП-2	154,2	169,6	ВА-52-39	250

Питающая КЛ 10 кВ защищается релейной защитой (РЗ).

2.9 Релейная защита и автоматика

Защита блоков «линия 10 кВ – силовой трансформатор ТП» будет осуществляться комплектами релейной защиты с микропроцессорными терминалами, комплекты РЗ устанавливаются на питающих фидерах 10 кВ РП энергосистемы [2].

Микропроцессорные устройства релейной защиты (МУРЗ) стали неотъемлемой частью современной электроэнергетики. Они представляют собой компактные и эффективные системы, основанные на использовании компьютерных технологий и микроконтроллеров. Преимущества МУРЗ включают компактность размещения оборудования, наглядное управление с помощью сенсорных кнопок и дисплея, а также возможность реализации дополнительных функций, таких как регистрация процессов аварийного состояния, опережение отключения синхронных потребителей и дальнейшее резервирование. Однако наряду с преимуществами существуют и некоторые недостатки, такие как высокая стоимость и низкая ремонтпригодность. Кроме того, надёжность МУРЗ зависит от качества компонентов и алгоритмов самодиагностики. Несмотря на существующие проблемы, микропроцессорные устройства релейной защиты продолжают развиваться и совершенствоваться. Они становятся всё более надёжными и эффективными, что делает их важным элементом современной электроэнергетики.

Защита блоков «линия 10 кВ – силовой трансформатор ТП» будет выполнена на терминалах БМРЗ-101-Д-КЛ-01, предусмотренные виды защит:

- токовая отсечка;
- максимальная токовая защита (МТЗ);
- защита от замыканий на землю (ЗНЗ);
- защита от перегрузки.

Внешний вид терминала показан на рисунке 6.



Рисунок 6 – Терминал BMP3-101-Д-КЛ-01

АВР выполняется на терминале BMP3-107-Д-АВР-20, применение АВР регламентировано ПУЭ ввиду наличия потребителей первой категории [14].

«АВР 0,4 кВ на шинах ТП предназначен для автоматического переключения питания ответственных потребителей на резервный источник при пропадании либо несоответствии норме показателей качества питания с основного источника. Для обеспечения дистанционного управления и контроля состояния, вводные и секционный автоматические выключатели на вводе 0,4 кВ и секционной перемычке ГРЩ выбираются с электромагнитным приводом. Терминал обеспечивает автоматический ввод резервного источника при пропадании напряжения на одном из питающих вводов и автоматическое восстановление схемы нормального режима питания. В нормальном режиме работы питание подается на оба ввода 0,4 кВ, секционный выключатель отключен. При пропадании напряжения на одном из вводов, АВР отключает выключатель этого ввода ($QF1$ или $QF2$) и включает секционный выключатель ($QF3$). После проведения необходимых ремонтно-восстановительных работ и появлении питания на втором вводе 0,4 кВ, терминал АВР автоматически восстанавливает схему нормального

режима питания, включая выключатель ввода ($QF1$ или $QF2$) и отключая секционный выключатель ($QF3$)» [6].

«Упрощенная схема АВР приведена на рисунке 7.

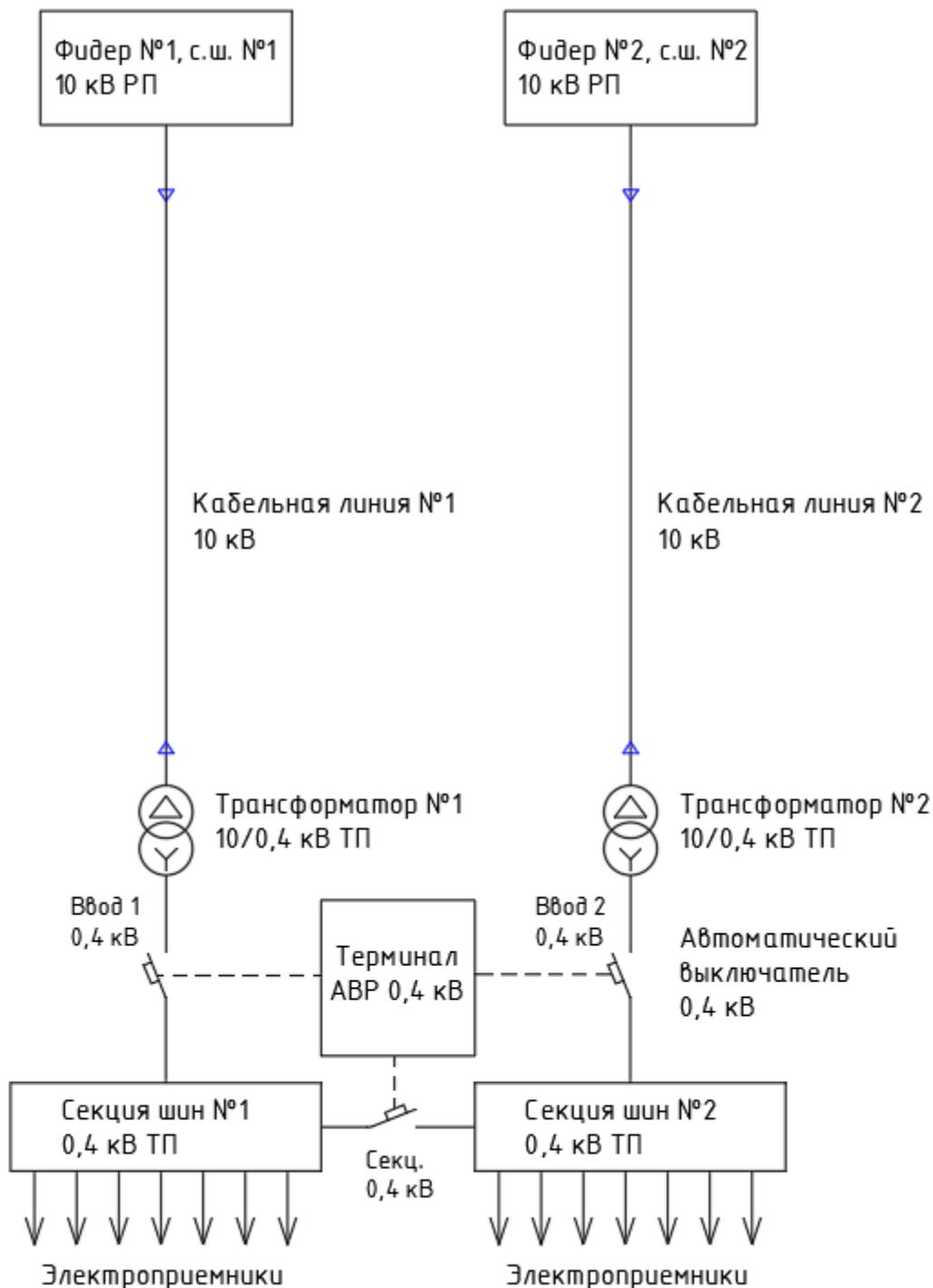
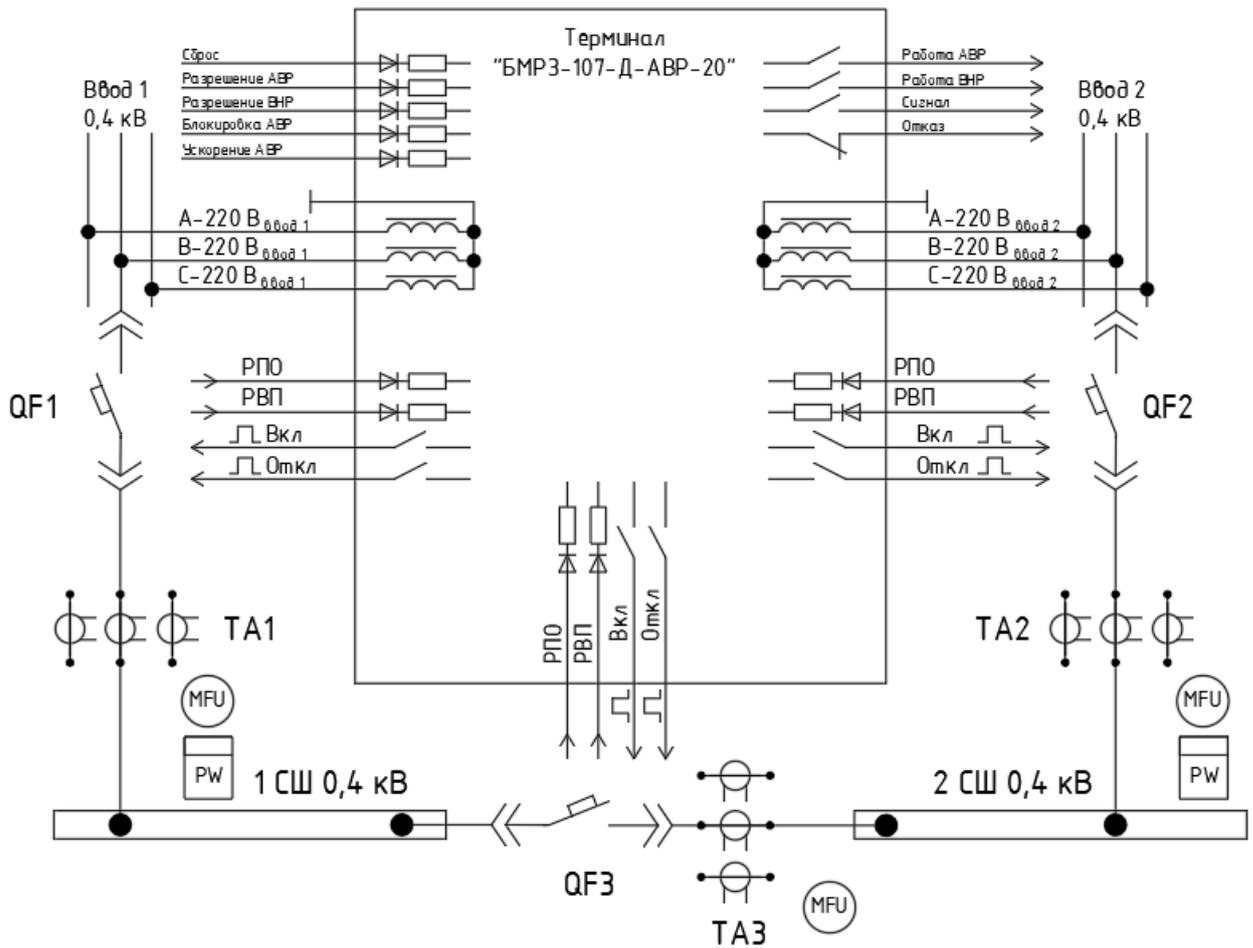


Рисунок 7 – Упрощенная схема АВР

Схема подключения терминала приведена на рисунке 8.



Зона	Поз. обозн.	Обозначение	Кол.	Примечание
		Автоматические выключатели		
	QF1..QF3	ВА-52-39	3	
		Трансформаторы тока		
	ТА1..ТА3	ТШЛ-0,66-У3	9	

Рисунок 8 – Схема подключения терминала АВР

Уставка пускового органа минимального напряжения:

$$U_{C.P} = 0,7 \cdot U_{НОМ}, \quad (32)$$

где $U_{НОМ}$ – напряжение сети, В.

$$U_{C.P0,4} = 0,7 \cdot 380 = 266 \text{ В.}$$

Уставка реле напряжения на резервном вводе:

$$U_{C.P} = (0,6 \div 0,65) \cdot U_{НОМ}, \quad (33)$$
$$U_{C.P0,4} = (0,6 \div 0,65) \cdot 380 = 228 \div 247 \text{ В.}$$

Уставка реле:

$$t_{C.P.ABP} = t_1 + \Delta t, \quad (34)$$

где t_1 – время отключения, с;

Δt – ступень селективности, с» [6].

$$t_{C.P.ABP} = 0,05 + 0,5 = 0,55 \text{ с.}$$

Выводы.

Определены расчетные электрические нагрузки помещений и ФОК в целом, спроектирована система освещения. Электрическое освещение помещений предполагается выполнить на основе современных светодиодных источников света, под управлением программируемых реле, что обеспечит высокую энергоэффективность систем освещения и его полную адаптацию под конкретные условия пользования в различных помещениях, а также обеспечит долгий срок службы источников света, их экологичность и низкие эксплуатационные расходы. Выбраны автоматические установки КРМ и энергосберегающие силовые трансформаторы, что обеспечит высокую энергоэффективность. Выбраны кабели и оборудование защиты линий, а также оборудование РЗА на основе микропроцессорных терминалов.

Заключение

Ввод в эксплуатацию планируемого к постройке физкультурно-оздоровительного комплекса требует обязательного обеспечения его качественного, безопасного и надежного электроснабжения. Грамотно спроектированная и правильно реализованная система электроснабжения обеспечит стабильное и безопасное функционирование физкультурно-оздоровительного комплекса и высокое качество оказываемых услуг. ФОК будет играть очень важную роль в функционировании предприятия, так как поддержание и улучшение здоровья персонала и работников и укрепление их духовного состояния напрямую влияют на финансовую и общую успешность предприятия, повышая трудовые показатели персонала и работников, их лояльность и мотивацию.

Электроснабжение помещений ФОК будет обеспечиваться от распределительных щитков и распределительных коробок, установленных на стенах помещений. а электроснабжение здания в целом будет выполнено от собственной ТП 10/0,4 кВ. Электрическая сеть внутри ФОК будет выполнена кабелями марки NYM, проложенными в защитных коробах по стенам и в полах помещений. Электрическое освещение помещений предполагается выполнить на основе современных светодиодных источников света, под управлением программируемых реле. Выбраны автоматические установки серии АУКРМ и энергосберегающие силовые трансформаторы марки ТМГСУ11-250, что обеспечит высокую энергоэффективность. Выбраны кабели и оборудование защиты линий, а также оборудование РЗА на основе микропроцессорных терминалов серии БМРЗ.

Спроектированная система электроснабжения ФОК соответствует требованиям ПУЭ и другим актуальным нормативно-техническим документам, качественное и надежное электроснабжение ФОК будет обеспечено.

Список используемых источников

1. Анчарова Т.В. Электроснабжение и электрооборудование зданий и сооружений : учебник. – 2-е изд., перераб. и доп. М. : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2023. 415 с.
2. Бирюлин В.И. Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем : учебное пособие. М. : Инфра-Инженерия, 2022. 164 с.
3. Бирюлин В.И. Электроснабжение промышленных и гражданских объектов : учебное пособие. М. : Инфра-Инженерия, 2022. 204 с.
4. Галишников Ю. П. Трансформаторы и электрические машины : курс лекций. М. : Инфра-Инженерия, 2021. 216 с.
5. Головатый С. Е. Охрана окружающей среды и энергосбережение : учебное пособие. Минск : РИПО, 2021. 304 с.
6. Горемыкин С. А. Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем : учебное пособие. М. : ИНФРА-М, 2023. 191 с.
7. Грунтович Н. В. Монтаж, наладка и эксплуатация электрооборудования : учебное пособие. М. : ИНФРА-М, 2023. 271 с.
8. Иванов С.Н. Надежность электроснабжения : учебное пособие. М. : Инфра-Инженерия, 2022. 164 с.
9. Кобозев В.А. Качество электроэнергии и энергоэффективность систем электроснабжения потребителей : учебное пособие. М. : Инфра-Инженерия, 2022. 356 с.
10. Комков В. А. Энергосбережение в жилищно-коммунальном хозяйстве : учебное пособие. – 2-е изд. М. : ИНФРА-М, 2022. 204 с.
11. Немировский А. Е. Электрооборудование электрических сетей, станций и подстанций : учебное пособие. М. : Инфра-Инженерия, 2023. 176 с.
12. Ополева Г.Н. Электроснабжение промышленных предприятий и городов: Учебное пособие. М. : Форум, 2022. 416 с.

13. Петухов Р.А. Электроснабжение : учебное пособие. Красноярск : Сибирский федеральный университет, 2022. 328 с.
14. Правила устройства электроустановок: действующие разделы 6-го и 7-го изданий. М. : ИНФРА-М, 2023. 832 с.
15. Сибикин Ю. Д. Современные электрические подстанции : учебное пособие. – 2-е изд., доп. М. : ИНФРА-М, 2023. 417 с.
16. Сибикин Ю. Д. Технология энергосбережения : учебник. – 4-е изд., перераб. и доп. М. : ИНФРА-М, 2023. 336 с.
17. Сибикин Ю.Д. Электроснабжение : учебное пособие. – 2-е изд., стер. М. : ИНФРА-М, 2023. 328 с.
18. Шеховцов В. П. Осветительные установки промышленных и гражданских объектов : учебное пособие. М. : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2022. 158 с.
19. Шеховцов В.П. Расчет и проектирование схем электроснабжения. Методическое пособие для курсового проектирования : учебное пособие. – 3-е изд., испр. М. : ИНФРА-М, 2023. 214 с.
20. Шеховцов В.П. Справочное пособие по электрооборудованию и электроснабжению : учебное пособие. – 3-е изд. М. : ИНФРА-М, 2023. 136 с.