

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 Федерального центра охраны
здоровья животных в г. Калининград

Обучающийся

М. Е. Ставбунский

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., О.В. Самолина

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

Тольятти 2024

Аннотация

Выпускная квалификационная работа 53 страницы, 13 рисунков, 9 таблиц, 20 источников.

Ключевые слова: система электроснабжения, оборудование, помещение, электроприемник, освещение, электрооборудование, мощность, надежность.

Объект исследования: центр охраны здоровья животных в г. Калининград.

Предмет исследования: электроснабжение центра охраны здоровья животных.

Цель работы: разработка качественной системы электроснабжения центра охраны здоровья животных.

Актуальность темы работы обусловлена тем, что в г. Калининград требуется расширение лабораторной и исследовательской базы ЦОЗЖ на местном региональном уровне. Планируется построить новое здание центра охраны здоровья животных, в котором будут проводиться лабораторные анализы, их обработка, накопление и систематизация, а также исследовательские и проектные работы по совершенствованию охраны здоровья животных. Это позволит улучшить качество охраны здоровья животных в регионе и повысить автономность и независимость данных служб от федерального центра. Ввод в эксплуатацию и дальнейшая работа центра охраны здоровья животных невозможна без его надежного и безопасного электроснабжения, что и обуславливает актуальность и важность данной работы.

Содержание ВКР включает в себя вопросы: характеристика здания центра охраны здоровья животных и его помещений ; характеристики электроприемников; исходные данные для разработки системы электроснабжения; разработка системы электроснабжения центра охраны здоровья животных.

Содержание

Введение.....	4
1 Анализ исходных данных по электроснабжению потребителей центра.....	7
1.1 Характеристика центра охраны здоровья животных и его помещений..	7
1.2 Характеристики электроприемников	9
1.3 Исходные данные для разработки системы электроснабжения.....	10
2 Разработка системы электроснабжения центра охраны здоровья животных.....	14
2.1 Определение электрических нагрузок помещений	14
2.2 Разработка системы освещения помещений, определение нагрузок с учетом освещения	16
2.3 Выбор устройств компенсации реактивной мощности.....	21
2.4 Выбор числа и мощности силовых трансформаторов подстанции, выбор марки подстанции.....	23
2.5 Расчет питающей линии 10 кВ, выбор кабелей	26
2.6 Расчет распределительной сети, выбор кабелей.....	28
2.7 Расчет токов короткого замыкания, проверка кабелей по термической стойкости.....	32
2.8 Выбор аппаратов защиты линий	38
2.9 Выбор основного электрооборудования подстанции и его проверка ...	41
Заключение	52
Список используемых источников.....	53

Введение

Электроснабжение общественных и административных зданий играет важную роль в обеспечении комфорта и эффективной работы этих объектов. «Схема основной электрической сети должна быть гибкой, чтобы можно было осуществлять поэтапное развитие и адаптироваться к изменениям условий роста нагрузки и развития электросетей. Управляемость электрической сети и её компонентов также важна для обеспечения надёжности системы. Электроснабжение должно соответствовать требованиям охраны окружающей среды, уменьшая площади изъятия земельных участков, ограничивая выбросы вредных веществ и предотвращая вредное воздействие на водоёмы. Создание электроустановки объекта требует определённых финансовых вложений, однако они окупаются благодаря повышению надёжности и эффективности работы системы. В целом, электроснабжение общественных и административных зданий должно основываться на принципах надёжности, гибкости, соответствия требованиям охраны окружающей среды и экономической целесообразности» [3]. Только при соблюдении этих критериев система электроснабжения (СЭС) будет эффективной, надёжной и экологически безопасной.

Охрана здоровья животных является стратегически значимым фактором для успешного функционирования и развития государства. В случае несоблюдения всех условий для обеспечения здоровья сельскохозяйственных видов животных возможно резкое повышение их заболеваемости и смертности, значительное снижение уровня поставляемой предприятиями мясной, молочной и другой сельскохозяйственной продукции. Поэтому охрана здоровья животных проводится эффективно, на федеральном уровне, в каждом регионе должны иметься специализированные центры охраны здоровья животных (ЦОЗЖ), в которых проводятся анализы различных биологических проб сельскохозяйственной

фауны и ее кормовой базы. Сеть ЦОЗЖ в целом по стране постоянно расширяется, в городах и других крупных населенных пунктах строятся новые объекты федеральной инфраструктуры ЦОЗЖ, такие как, например, лаборатории и административные здания.

Центры охраны здоровья животных играют важную роль в поддержании здоровья и благополучия животных, занимаются профилактикой, диагностикой и лечением заболеваний, а также проводят научные исследования в области ветеринарии. Выполняются функции контроля качества продукции животного происхождения и обеспечивают безопасность пищевых продуктов для человека. ЦОЗЖ осуществляют контроль за соблюдением ветеринарно-санитарных правил и норм, а также проводят экспертизы и сертификации продукции. Важное направление деятельности – проведение научных исследований и разработка новых методов диагностики, лечения и профилактики заболеваний животных. Благодаря этим исследованиям, ветеринарная наука постоянно совершенствуется, что позволяет повышать эффективность борьбы с болезнями и улучшать качество жизни животных. ЦОЗЖ активно сотрудничают с международными организациями и обмениваются опытом с коллегами из других стран, что способствует распространению передовых знаний и технологий в области ветеринарии и укреплению международного сотрудничества в сфере охраны здоровья животных. ЦОЗЖ играют ключевую роль в сохранении здоровья и благополучия животных, обеспечивая профилактику, диагностику и лечение заболеваний, а также проводя научные исследования и контролируя качество продукции животного происхождения.

Актуальность темы работы обусловлена тем, что в г. Калининград требуется расширение лабораторной и исследовательской базы ЦОЗЖ на местном региональном уровне. Планируется построить новое здание ЦОЗЖ, в котором будут проводиться лабораторные анализы, их обработка, накопление и систематизация, а также исследовательские и проектные

работы по совершенствованию охраны здоровья животных в г. Калининград и области. Это позволит улучшить качество охраны здоровья животных в регионе и повысить автономность и независимость данных служб от федерального центра. Повысится экономическая и продовольственная безопасность региона, улучшатся показатели работы сельского хозяйства. Однако ввод в эксплуатацию и дальнейшая работа ЦОЗЖ невозможна без его надежного и безопасного электроснабжения, что и обуславливает актуальность и важность разработки системы электроснабжения ЦОЗЖ в данной работе. Питание электрической энергией помещений ЦОЗЖ обеспечит работу лабораторного оборудования, компьютерной техники, освещения и других потребителей, что позволит осуществить ввод в эксплуатацию и дальнейшую работу ЦОЗЖ.

Объект исследования: центр охраны здоровья животных в г. Калининград.

Предмет исследования: электроснабжение центра охраны здоровья животных.

Цель работы: разработка качественной системы электроснабжения центра охраны здоровья животных.

Задачи работы:

- выполнить систематизацию и анализ исходных данных на проектирование;
- спроектировать энергоэффективную систему освещения помещений;
- определить электрические нагрузки;
- выбрать оборудование системы электроснабжения.

Результаты работы могут быть использованы при разработке СЭС других подобных объектов как в составе структуры общероссийского Федерального центра охраны здоровья животных, так и других предприятий и организаций.

1 Анализ исходных данных по электроснабжению потребителей центра

1.1 Характеристика центра охраны здоровья животных и его помещений

Здание ЦОЗЖ представляет собой современный и функциональный комплекс, предназначенный для проведения исследований, диагностики и лечения заболеваний животных. Оно будет расположено в экологически чистом районе города и соответствует всем необходимым требованиям для комфортной работы персонала и содержания животных. Здание имеет множество помещений, каждое из которых предназначено для выполнения определённых функций. Здание будет оборудовано системой вентиляции и кондиционирования воздуха, что обеспечит оптимальный микроклимат для животных и персонала. В целом, здание ЦОЗЖ является современным и комфортным местом для работы персонала и проведения им соответствующих узкоспециализированных работ. Оно отвечает всем необходимым требованиям и стандартам, обеспечивая высокое качество предоставляемых услуг и комфортные условия для персонала и временного содержания животных. Помещения будут оборудованы современными технологиями, позволяющими проводить диагностику и лечение на высоком уровне. Например, наличие рентгеновского и ультразвукового оборудования значительно ускорит процесс диагностики и повысит его точность. Образовательные программы и семинары помогут повысить уровень осведомленности населения о здоровье животных и важности их защиты.

Далее рассматриваются помещения и их функционал.

На участках изучения образцов растительного и животного происхождения будет установлено все необходимое для проведения качественных анализов современное оборудование. Результаты анализов будут отправляться заказчикам и использоваться для накопления

статистических данных, исследовательских и проектных работ, проводимых в центре. Серверная предназначена для установки серверного компьютерного оборудования, а также оборудования управлением системами пожарной сигнализации и видеомониторинга. Помещения радиохимии и спектрометрии предназначены для проведения анализов по соответствующим технологиям. В бактериологических и вирусологических кабинетах будут проводиться отдельные виды соответствующих анализов, а также аналитические и письменные работы. Участок обработки биоматериалов обеспечит их первичную подготовку для проведения дальнейших анализов, а также длительного хранения. Кладовые образцов животного и растительного происхождения обеспечат их длительное хранение. Склад реагентов обеспечит их длительное хранение и складирование. Помещение для временного содержания животных обеспечит их пребывание в центре на время проведения исследований, забора анализов, а также терапии. Исследовательское и проектное помещения обеспечат централизованное проведение данных видов работ. Конференц-зал – это место для проведения различных мероприятий, будь то деловые встречи, тренинги, семинары или презентации. Он предоставляет комфортное пространство для общения и совместной работы, а также все необходимое оборудование для успешного проведения мероприятия. Конференц-зал будет оснащен мультимедийными системами, проекторами, флипчартами и микрофонами, что позволит участникам легко обмениваться информацией и взаимодействовать друг с другом. Конференц-зал будет оборудован кондиционерами, что обеспечит комфортную температуру в течение всего мероприятия. Данное помещение предоставит возможность эффективно проводить мероприятия, устанавливать новые контакты и укреплять отношения с партнёрами и клиентами, проводимые в нем образовательные программы и семинары помогут повысить уровень осведомленности населения о здоровье животных и важности их защиты.

1.2 Характеристики электроприемников

Электроприёмники (ЭП) ЦОЗЖ разделяются на несколько категорий:

- специализированное оборудование для проведения биологических анализов;
- холодильное и прочее оборудование для хранения образцов растительного и животного происхождения;
- компьютерное оборудование для общего управления технологическими процессами, исследовательской и проектной работы;
- оборудование санитарно-технических и прочих устройств, обеспечивающих общее функционирование здания;
- освещение;
- оборудование для временного содержания животных;
- прочие виды электроприемников.

Специализированное оборудование для проведения биологических анализов играет ключевую роль в деятельности ЦОЗЖ. Оно включает устройства для подготовки проб, анализаторы и микроскопы. Для подготовки проб используются устройства для перемешивания, центрифуги и дозаторы. Термостаты обеспечивают необходимый уровень прогрева биоматериала. Дистилляторы, вытяжные шкафы и боксы биологической безопасности обеспечивают безопасность работы с образцами. Анализаторы позволяют проводить различные виды анализов, включая анализы кала, крови и мочи. Микроскопы дают подробное представление о структуре тканей и позволяют анализировать отклонения от нормы, необходимо учитывать тип исследуемого биологического материала, разновидность проводимых анализов и степень точности данных. Использование специализированного оборудования позволит проводить качественные анализы, обеспечивая точность и достоверность результатов.

Образцы тканей и прочие образцы растительного и животного происхождения будут храниться в специализированном холодильном оборудовании, основными электроприемниками будут являться электродвигатели компрессорных установок, отличительная особенность – большие пусковые токи, высокое потребление реактивной мощности (РМ). В серверной будет установлено современное серверное оборудование, обеспечивающее централизованную обработку, хранение передачу данных. На рабочих местах персонала также будет установлено оборудование оргтехники (системные блоки, мониторы, принтеры, многофункциональные устройства и т.д.). Оборудование санитарно-технических и прочих устройств, обеспечивающих общее функционирование здания, включает электроприводы насосов водоснабжения, водоотведения и канализации, частотные преобразователи, кондиционеры и т.д. Освещение помещений планируется выполнить энергоэффективными светодиодными светильниками. Оборудование для временного содержания животных будет включать установки локального обогрева и вентиляции, автопоилки, оборудование кормораздачи и т.д. В целом, можно отметить преобладание электрической нагрузки в виде электродвигателей различных электроприводов, различного специализированного оборудования для проведения биологических анализов, а также оргтехнического и компьютерного оборудования.

1.3 Исходные данные для разработки системы электроснабжения

Здание центра охраны здоровья животных будет построено в соответствии с проектной документацией, данные по помещениям (суммарные нагрузки, категории по обеспечению надежности электроснабжения, коэффициенты спроса нагрузок и мощности) приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Исходные данные по помещениям

№ на плане	Помещения	$P_{\text{ном}},$ кВт	Категор. надежн.	K_c	$\cos\varphi$
1	Участок изучения образцов растительного происхождения	55	1	0,6	0,87
2	Участок изучения образцов животного происхождения	160	1	0,65	0,8
3	Серверная	28	1	0,8	0,95
4	Санузел	17	2	0,65	0,90
5	Спектрометрия, радиохимия	26	1	0,5	0,85
6	Бактериологический кабинет	24	1	0,65	0,90
7	Вирусологический кабинет	14,2	1	0,5	0,85
8	Участок обработки биоматериалов	64,3	1	0,4	0,90
9	Кладовая образцов животного происхождения	35	2	0,5	0,85
10	Кладовая образцов животного происхождения	35	2	0,5	0,85
11	Кладовая образцов животного происхождения	35	2	0,5	0,85
12	Кладовая образцов животного происхождения	35	2	0,5	0,85
13	Кладовая образцов растительного происхождения	35	2	0,5	0,85
14	Склад реагентов	31	2	0,5	0,85
15	Санузел	12,1	2	0,3	0,90
16	Помещение для временного содержания животных	105	2	0,7	0,90
17	Исследовательское помещение	49	1	0,7	0,85
18	Коридор	5,5	3	0,25	0,89
19	Проектное помещение	38	1	0,65	0,90
20	Тамбур-шлюз	7,5	3	0,25	0,89
21	Конференц-зал	86	2	0,7	0,90
22	Комната оформления документов	7,8	3	0,3	0,96
23	Бытовка	8,1	3	0,3	0,96

План помещений приведен на рисунке 1.

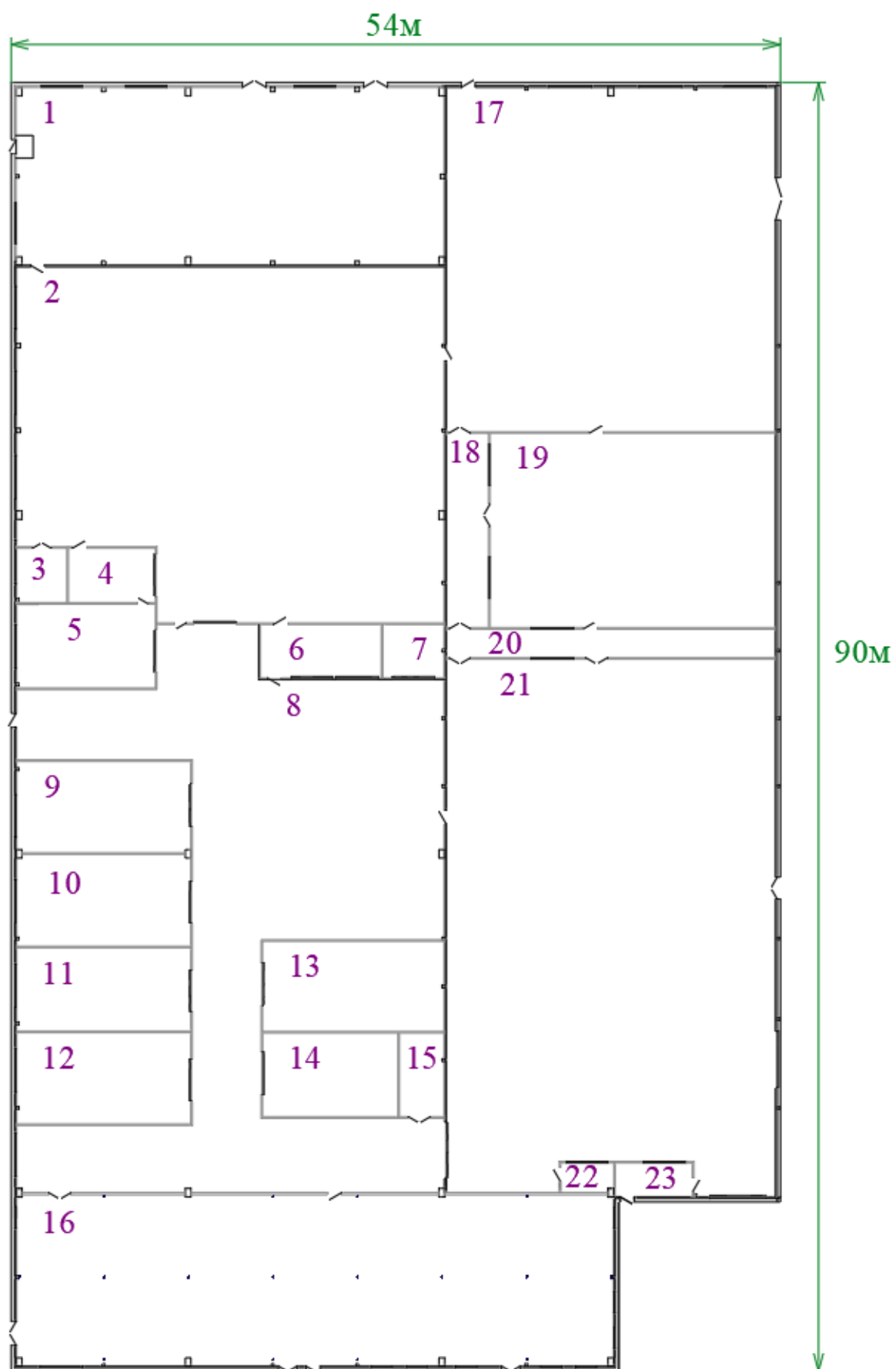


Рисунок 1 – План помещений

«Помещения будут питаться электрической энергией от наружных распределительных щитков (ЩРН) и распределительных коробок (РК), установленных в каждом из них отдельно. Все ЩРН и РК, в свою очередь, будут питаться по кабельным линиям (КЛ) от главного распределительного щита (ГРЩ) и распределительного пункта (РП), установленных внутри здания. Кабели внутренней распределительной сети будут прокладываться в защитных коробах. ГРЩ и РП будут питаться от комплектной трансформаторной подстанции (КТПН) 10/0,4 кВ наружной установки, установленной с западной стороны здания у стены» [1]. Питание КТПН планируется выполнить от РП 10 кВ энергосистемы, длина питающей КЛ напряжением 10 кВ составит 1,651 км.

Выводы.

В городе Калининград требуется расширение лабораторной и исследовательской базы ЦОЗЖ на местном региональном уровне. Планируется построить новое здание ЦОЗЖ, в котором будут проводиться лабораторные анализы, их обработка, накопление и систематизация, а также исследовательские и проектные работы по совершенствованию охраны здоровья животных. Питание электрической энергией помещений ЦОЗЖ обеспечит работу лабораторного оборудования, компьютерной техники, освещения и других потребителей, что позволит осуществить ввод в эксплуатацию и дальнейшую работу ЦОЗЖ. В целом, можно отметить преобладание электрической нагрузки в виде электродвигателей различных электроприводов, различного специализированного оборудования для проведения биологических анализов, а также оргтехнического и компьютерного оборудования. Помещения будут питаться электрической энергией от наружных распределительных щитков и распределительных коробок. Здание центра охраны здоровья животных будет построено в соответствии с проектной документацией, в соответствии с которой, систематизированы данные по помещениям и составлен план помещений.

2 Разработка системы электроснабжения центра охраны здоровья животных

2.1 Определение электрических нагрузок помещений

«Для расчета 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):

$$P_c = 0,6 \cdot 55 = 33 \text{ кВт},$$

$$Q_c = 33 \cdot 0,646 = 21,316 \text{ квар},$$

$$S_c = \sqrt{33^2 + 21,316^2} = 39,286 \text{ кВА}.$$

«Помещения будут питаться электрической энергией от наружных распределительных щитков и распределительных коробок, установленных в каждом из них отдельно» [1]. Все ЩРН и РК, в свою очередь, будут питаться по кабельным линиям от главного распределительного щита и распределительного пункта, установленных внутри здания.

Расчеты нагрузок сведены в таблице 2.

Таблица 2 – Расчет нагрузок помещений

Помещения	$P_{ном},$ кВт	$\cos\varphi$	$tg\varphi$	Средняя нагрузка		
				$P_c,$ кВт	$Q_c,$ квар	$S_c,$ кВА
Участок изучения образцов растительного происхождения	55	0,84	0,646	33,000	21,316	39,286
Участок изучения образцов животного происхождения	160	0,8	0,750	104,000	78,000	130,000
Серверная	28	0,95	0,329	22,400	7,363	23,579
Санузел	17	0,90	0,484	11,050	5,352	12,278
Спектрометрия, радиохимия	26	0,85	0,620	13	8,06	15,29
Бактериологический кабинет	24	0,90	0,484	15,6	7,56	17,33
Вирусологический кабинет	14,2	0,85	0,620	7,1	4,40	8,35
Участок обработки биоматериалов	64,3	0,90	0,484	25,72	12,46	28,58
Кладовая образцов животного происхождения	35	0,85	0,620	17,5	10,85	20,59
Кладовая образцов животного происхождения	35	0,85	0,620	17,5	10,85	20,59
Кладовая образцов животного происхождения	35	0,85	0,620	17,5	10,85	20,59
Кладовая образцов животного происхождения	35	0,85	0,620	17,5	10,85	20,59
Кладовая образцов растительного происхождения	35	0,85	0,620	17,5	10,85	20,59
Склад реагентов	31	0,85	0,620	15,5	9,61	18,24
Санузел	12,1	0,90	0,484	3,630	1,758	4,033
Помещение для временного содержания животных	105	0,90	0,484	73,500	35,598	81,667
Итого по ГРЩ	711,6	0,86	0,605	412,000	245,689	481,577
Исследовательское помещение	49	0,85	0,620	34,300	21,257	40,353
Коридор	5,5	0,89	0,512	1,375	0,70	1,54
Проектное помещение	38	0,90	0,484	24,7	11,96	27,44
Тамбур-шлюз	7,5	0,89	0,512	1,875	0,96	2,11
Конференц-зал	86	0,90	0,484	60,2	29,16	66,89
Комната оформления документов	7,8	0,96	0,292	2,340	0,683	2,438
Бытовка	8,1	0,96	0,292	2,43	0,71	2,53
Итого по РП	201,9	0,90	0,477	91,545	43,471	101,409
Итого по вводу ГРЩ	913,5	0,91	0,466	503,545	289,159	580,664

Необходимо также учесть нагрузку освещения помещений.

2.2 Разработка системы освещения помещений, определение нагрузок с учетом освещения

Освещение помещений предлагается обеспечить с помощью современных энергоэффективных долговечных и надежных светодиодных светильников.

«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 UNIEL ULY-U42C 200W. По (4,5,6)» [17]:

$$i = \frac{30,19 \cdot 12,47}{4 \cdot (30,19 + 12,47)} = 2,21,$$

$$\Phi = \frac{300 \cdot 376 \cdot 1,1 \cdot 1,1}{0,53} = 257784 \text{ лм},$$

$$N = \frac{257784}{24000} \approx 11 \text{ шт.}$$

Результаты выбора светильников сведены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты выбора светильников

Помещения	Е _{нор} , лк	N, шт	Φс, лм	Светильники
Участок изучения образцов растительного происхождения	300	11	24000	UNIEL ULY-U42C 200W
Участок изучения образцов животного происхождения		34		
Серверная	200	2	5300	VPO-01-PP-40
Санузел	150	3		
Спектрометрия, радиохимия	300	4	24000	UNIEL ULY-U42C 200W
Бактериологический кабинет		3		
Вирусологический кабинет		3	5300	VPO-01-PP-40
Участок обработки биоматериалов		29	24000	UNIEL ULY-U42C 200W
Кладовая	100	2		
Кладовая		2		
Кладовая		2		
Кладовая		2		
Кладовая		2		

Продолжение таблицы 3

Помещения	Е _{нор} , лк	N, шт	Фс, лм	Светильники
Склад реагентов	100	2	24000	UNIEL ULY-U42C 200W
Санузел	150	3	5300	VPO-01-PP-40
Помещение для временного содержания животных	200	20	24000	UNIEL ULY-U42C 200W
Исследовательское помещение	300	27	24000	UNIEL ULY-U42C 200W
Коридор	75	4	5300	VPO-01-PP-40
Проектное помещение	300	9	24000	UNIEL ULY-U42C 200W
Тамбур-шлюз	75	5	5300	VPO-01-PP-40
Конференц-зал	300	36	24000	UNIEL ULY-U42C 200W
Комната оформления документов	300	2	5300	VPO-01-PP-40
Бытовка	300	4	5300	VPO-01-PP-40

«Преимущества светодиодного освещения:

- светодиоды потребляют значительно меньше электроэнергии по сравнению с традиционными источниками света, такими как лампы накаливания и люминесцентные лампы, что позволяет существенно снизить расходы на электричество и уменьшить нагрузку на окружающую среду;
- светодиодные лампы имеют длительный срок службы, который может достигать 50 000 часов и более, они будут служить гораздо дольше, чем другие типы ламп, и не потребуют частой замены;
- светодиодные лампы не содержат вредных веществ, таких как ртуть, поэтому они безопасны для окружающей среды и здоровья человека, также они не нагреваются сильно, что снижает риск возгорания» [15].

«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.

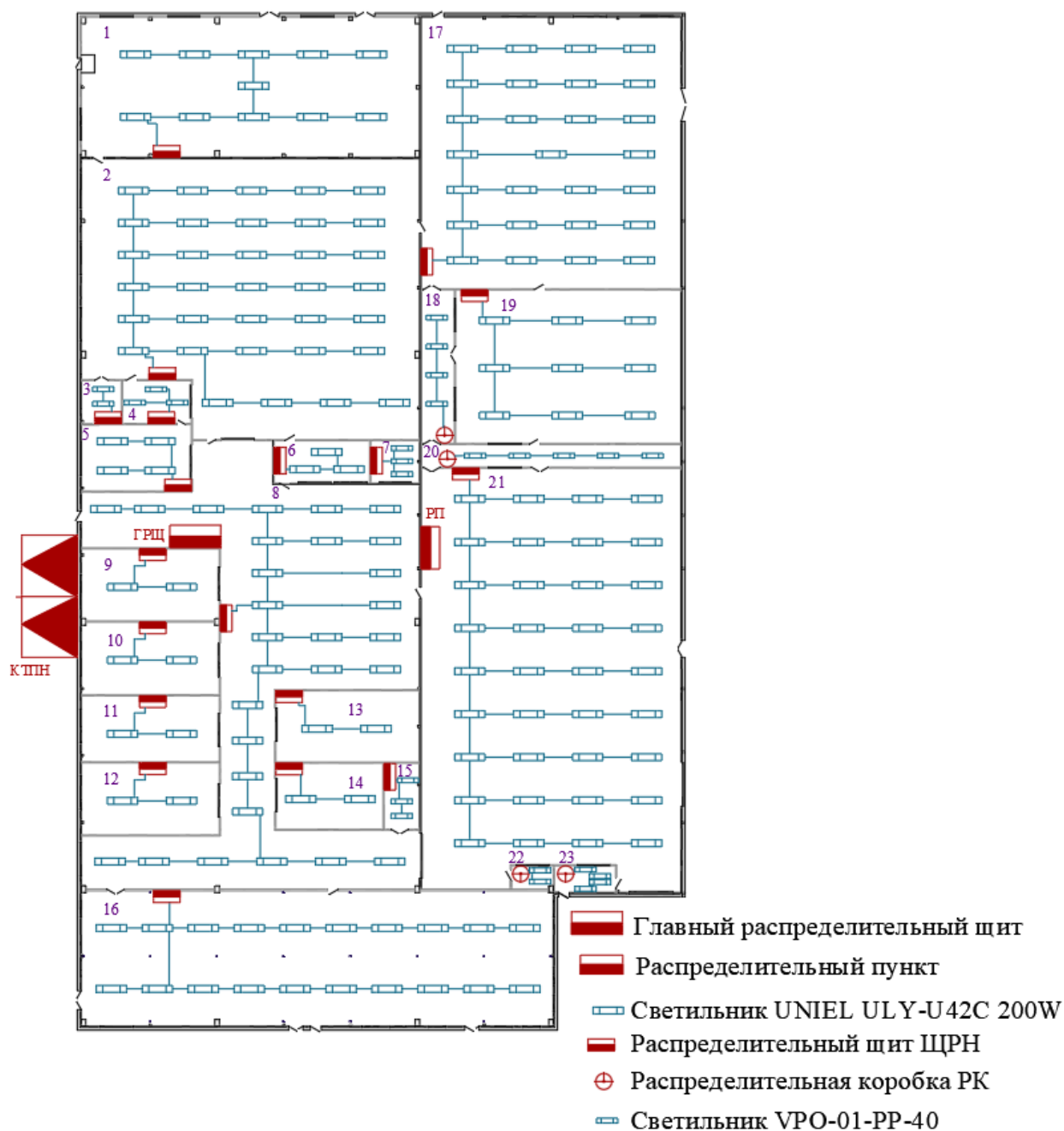


Рисунок 2 – План систем освещения

Нагрузка освещения учитывается в общей нагрузке. Пример расчета

для помещения №1.

Осветительная нагрузка, с учетом числа и мощности светильников:

$$P_o = 11 \cdot 0,2 = 2,2 \text{ кВт},$$
$$Q_o = 2,2 \cdot 0,329 = 0,724 \text{ квар.}$$

Нагрузки помещения с освещением:

$$P_p = 33 + 2,2 = 35,2 \text{ кВт},$$
$$Q_p = 21,316 + 0,724 = 22,04 \text{ квар},$$
$$S_p = \sqrt{35,2^2 + 22,04^2} = 41,531 \text{ кВА.}$$

Расчет нагрузок помещений (с учетом освещения) – в таблице 4» [3].

Таблица 4 – Расчет нагрузок помещений

Участок	Р _о , кВт	Q _о , квар	Р _р , кВт	Q _р , квар	Sp, кВА
Участок изучения образцов растительного происхождения	2,200	0,724	35,200	22,040	41,531
Участок изучения образцов животного происхождения	6,800	2,237	110,800	80,237	136,801
Серверная	0,080	0,026	22,480	7,389	23,663
Санузел	0,120	0,039	11,170	5,391	12,403
Спектрометрия, радиохимия	0,800	0,263	13,800	8,320	16,114
Бактериологический кабинет	0,600	0,197	16,200	7,753	17,960
Вирусологический кабинет	0,120	0,039	7,220	4,440	8,476
Участок обработки биоматериалов	5,800	1,908	31,520	14,365	34,639
Кладовая образцов животного происхождения	0,400	0,132	17,900	10,977	20,998
Кладовая образцов животного происхождения	0,400	0,132	17,900	10,977	20,998
Кладовая образцов животного происхождения	0,400	0,132	17,900	10,977	20,998
Кладовая образцов животного происхождения	0,400	0,132	17,900	10,977	20,998

Продолжение таблицы 4

Участок	P_o , кВт	Q_o , квар	P_p , кВт	Q_p , квар	S_p , кВА
Кладовая образцов растительного происхождения	0,400	0,132	17,900	10,977	20,998
Склад реагентов	0,400	0,132	15,900	9,738	18,645
Санузел	0,120	0,039	3,750	1,798	4,159
Помещение для временного содержания животных	4,000	1,316	77,500	36,914	85,842
Итого по ГРЩ			435,040	253,269	505,221
Исследовательское помещение	5,400	1,777	39,700	23,034	45,898
Коридор	0,160	0,053	1,535	0,757	1,712
Проектное помещение	1,800	0,592	26,500	12,555	29,324
Тамбур-шлюз	0,200	0,066	2,075	1,026	2,315
Конференц-зал	7,200	2,369	67,400	31,525	74,408
Комната оформления документов	0,080	0,026	2,420	0,709	2,522
Бытовка	0,160	0,053	2,590	0,761	2,700
Итого по РП			91,545	43,471	101,409
Итого всего			503,545	289,159	580,664

Для обеспечения энергоэффективной работы СЭС требуется выбрать установки компенсации реактивной мощности (КРМ).

2.3 Выбор устройств компенсации реактивной мощности

В современном мире, где технологии развиваются с невероятной скоростью, вопрос эффективного использования электроэнергии становится всё более актуальным. Одним из ключевых аспектов является КРМ, которая играет значительную роль в оптимизации работы электрических сетей и снижении потерь энергии. «Реактивная мощность (РМ) – это составляющая полной мощности, которая возникает из-за наличия в электрической цепи ёмкостных и индуктивных элементов. Её источниками могут быть различные

устройства и приборы, такие как асинхронные двигатели, трансформаторы и конденсаторы. РМ может вызывать дополнительные потери энергии и снижать качество электроснабжения. КРМ заключается в регулировании баланса реактивной мощности в узле сети с целью поддержания стабильного напряжения. Этот процесс осуществляется с помощью специальных компенсирующих устройств, таких как конденсаторные батареи, синхронные компенсаторы и статические тиристорные компенсаторы» [9].

КРМ целесообразно обеспечить централизованно, на шинах 0,4 кВ ТП.

«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.

$$Q_{к.у.} = 0,9 \cdot 503,545 \cdot (0,574 - 0,33) = 110,7 \text{ квар.}$$

Принимается две установки АУКРМ-0,4-57,5 по 57,5 квар.

Расчет КРМ показан в таблице 5» [11].

Таблица 5 – Расчет КРМ

Показатели	$\cos\varphi$	$tg\varphi$	P_p , кВт	Q_p , квар	S_p , кВА
Всего на НН без КУ	0,867	0,574	503,545	289,159	580,664
КУ, кВар	-	-	-	115	-
Всего на НН с КУ	0,945	0,346	503,545	174,159	532,812
Потери	-	-	10,656	53,281	-
Всего на ВН с КУ	-	-	514,201	227,441	562,256

«Потери в трансформаторах ТП:

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

$$\Delta P_m \approx 0,02 \cdot 532,812 = 10,656 \text{ кВт},$$

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

$$\Delta Q_m \approx 0,1 \cdot 532,812 = 53,281 \text{ квар}.$$

Итого полная нагрузка на вводе подстанции» [12]:

$$S_p = \sqrt{514,201^2 + 227,441^2} = 562,256 \text{ кВА}.$$

«Применение АУКРМ имеет ряд преимуществ:

- позволяет уменьшить потери активной мощности в элементах сети и повысить эффективность использования электроэнергии;
- способствует стабилизации напряжения и уменьшению его колебаний, что положительно влияет на работу электрооборудования и повышает надёжность системы электроснабжения;
- позволяет снизить затраты на электроэнергию, так как уменьшается потребление реактивной мощности и, следовательно, снижаются расходы на оплату счетов» [5];
- стабильное напряжение и отсутствие перегрузок в сети способствуют продлению срока службы электрооборудования, что приводит к экономии на его замене и ремонте.

2.4 Выбор числа и мощности силовых трансформаторов подстанции, выбор марки подстанции

«Выбор силовых трансформаторов для ТП является важным этапом проектирования системы электроснабжения промышленных предприятий. Он включает определение требуемого числа, типа, номинальных напряжений

и мощности, а также группы и схемы соединения обмоток. Учитываются категория надёжности электроснабжения потребителей, КРМ, перегрузочная способность трансформаторов, стандартные мощности и экономичные режимы работы. Выбор конструктивного исполнения трансформаторов зависит от условий окружающей среды и обслуживания» [14]. Правильный выбор обеспечивает надёжное и экономичное электроснабжение потребителей, учитывая их категорию, нагрузку и требования к качеству электроэнергии [13].

«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.

$$S_m \geq 0,7 \cdot 503,545 = 373 \text{ кВА.}$$

Устанавливается 2×ТМГ12-400 по 400 кВА.

Коэффициент загрузки в аварийном режиме:

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

где S_m – номинальная мощность, кВА» [16].

$$K_{з.ав.} = \frac{532,812}{400} = 1,332 \leq 1,4.$$

«Выбирается ТП марки 2КТПН-400/10/0,4, 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 серии ВА.

Установка силовых трансформаторов осуществляется после размещения КТПН на месте установки» [14].

«Внешний вид силового трансформатора показан на рисунке 3.



Рисунок 3 – Силовой трансформатор

Основные достоинства трансформаторов ТМГ12:

- сниженный уровень потерь холостого хода и короткого замыкания, соответствующий рекомендациям Европейского комитета электротехнической стандартизации (CENELEC);
- улучшенные шумовые характеристики, расширяющие область применения трансформаторов;

- ввод нейтрали обмотки НН, рассчитанный на продолжительную работу с номинальным током, что повышает надёжность трансформаторов при несимметричных нагрузках;
- герметичное исполнение, глубокая предварительная дегазация трансформаторного масла и его заливка под глубоким вакуумом, обеспечивающая высокую электрическую прочность главной и продольной изоляции;
- отсутствие необходимости испытаний масла и отбора проб при хранении и вводе в эксплуатацию;
- срок службы не менее 25 лет и гарантия 5 лет с даты выпуска на каждый трансформатор.

Трансформаторы отличаются энергоэффективностью, имея самый низкий уровень потерь холостого хода и короткого замыкания среди аналогичных трансформаторов, выпускаемых в СНГ» [4]. Это позволяет снижать потери электроэнергии при работе трансформатора на высокую постоянную или сезонную нагрузку. Завод-изготовитель предлагает три модификации трансформаторов. Специалисты предприятия и развитая дилерская сеть всегда готовы оказать техническую поддержку.

2.5 Расчет питающей линии 10 кВ, выбор кабелей

Питание КТПН планируется выполнить 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.

$$I_p = \frac{562,3}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 2} = 16,231 \text{ А.}$$

Экономическое сечение жил:

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

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

$$F_{\text{эк}} = \frac{16,231}{1,6} = 10,1 \text{ мм}^2.$$

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

$$I_{\text{ав}} = \frac{562,3}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 1} = 32,462 \text{ А.}$$

«Допустимый ток кабеля:

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

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

$K_{\text{нов}}$, $K_{\text{ср}}$, $K_{\text{нон}}$ – 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:

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

где I_p – максимальный ток КЛ, А;

L – длина КЛ, км;

r_0, x_0 – удельные сопротивления кабеля, Ом/км» [7].

$$\Delta U_{\text{л}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 32,462 \cdot 1,651 \cdot 100}{10} (1,94 \cdot 0,915 + 0,102 \cdot 0,405) = 0,24 \% < 5 \%$$

Потери не превысят допустимые.

«Кабели АПвП представляют собой один из наиболее распространенных видов кабелей, используемых в различных отраслях. Они обладают рядом преимуществ перед другими видами кабелей, включая более низкую стоимость, меньший вес и удобство в использовании. Одним из основных преимуществ данных кабелей является их гибкость. Это делает их идеальным выбором для использования в местах с ограниченным пространством. Пластмассовая изоляция обладает отличными изолирующими свойствами, что позволяет обеспечивать надежность электроснабжения» [11]. Еще одним важным преимуществом кабелей АПвП является их долговечность. Они способны выдерживать длительное использование без ухудшения своих характеристик. Это делает их идеальным выбором для эксплуатации в условиях высокой нагрузки. Также они «не подвержены коррозии и не выделяют вредных веществ при воздействии влаги, обладают высокой прочностью и устойчивостью к механическим воздействиям» [11].

2.6 Расчет распределительной сети, 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).

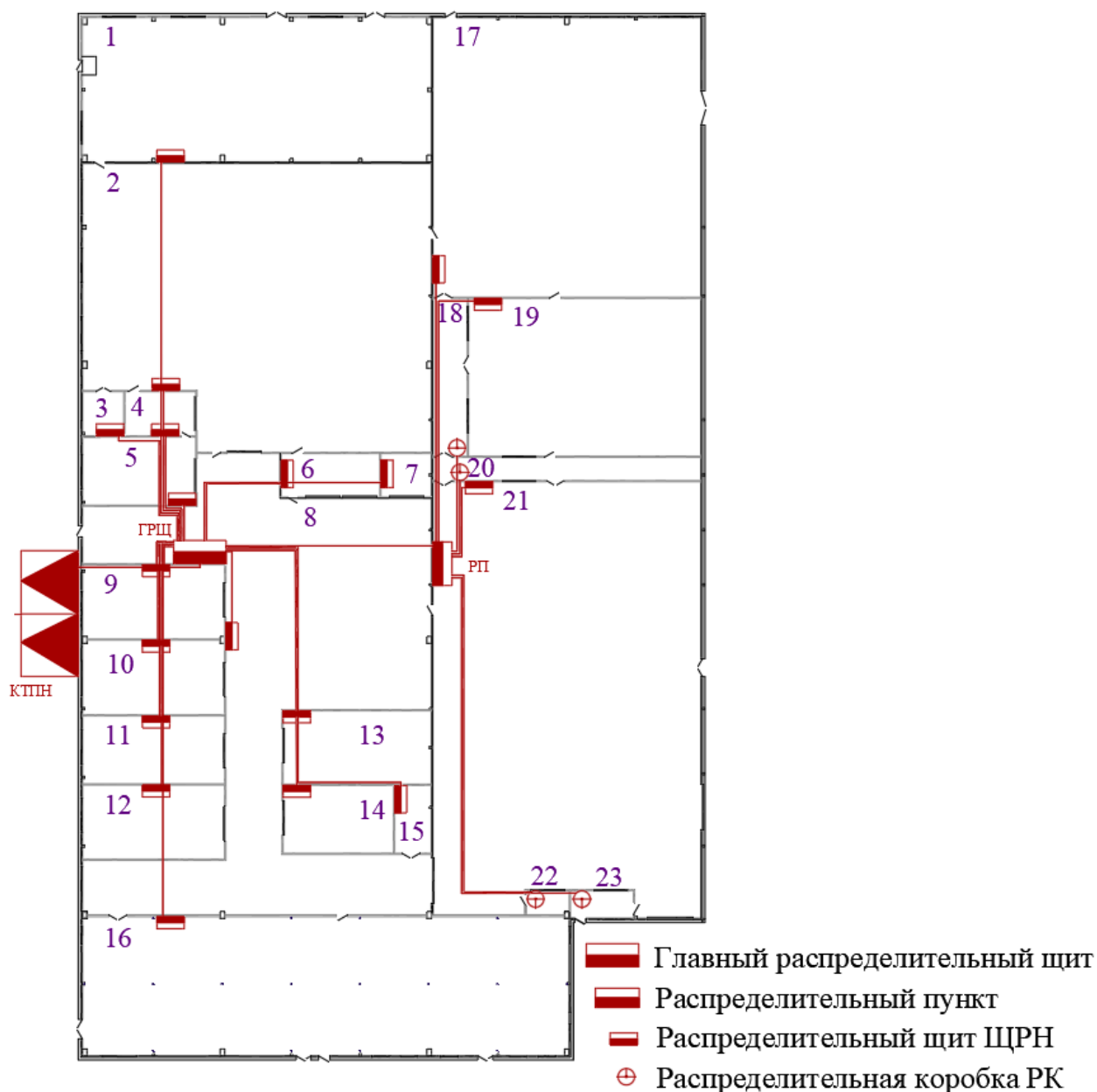


Рисунок 4 – Схема электроснабжения помещений

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:

$$I_p = \frac{41,531}{0,38} = 63,1 \text{ А.}$$

Принимается кабель NYM-5·10 с допустимым током 70 А.

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

$$\Delta U_n = \frac{\sqrt{3} \cdot 63,1 \cdot 34,23 \cdot 100}{0,22} (1,84 \cdot 0,85 + 0 \cdot 0,305) = 1,31 \% \leq 5 \%.$$

«Для питания всех помещений принимаются кабели марки NYM.

Кабель NYM – универсальный силовой провод, используемый в сетях переменного тока до 0,66 кВ (50 Гц) для промышленного и бытового назначения. Он применяется для запитывания неподвижных электроустановок и осветительных систем» [1]. Расшифровка аббревиатуры NYM: N – Normenleitung (стандарт ФРГ), Y – изоляция из полимерного ПВХ,

М – универсальность монтажа. Конструкция кабеля NYM состоит из одно- или мультипроволочных электрожил в скрутке, промежуточной оболочки из невулканизированного резиноматериала и внешней защитной оболочки из ПВХ с самозатухающими свойствами.

Преимущества кабеля NYM:

- повышенная эластичность для облегчения прокладки;
- герметизация электрожил и упрощение предмонтажной разделки;
- негорючие свойства материала изоляции и оболочки;
- идеальное качество и соответствие стандартам.

Технические характеристики кабеля NYM включают количество электропроводников, сечение, рабочие температуры, минимальную температуру прокладки, влажность воздуха, рабочее электронапряжение и минимальный радиус изгиба. Срок эксплуатации кабеля NYM составляет 30 и более лет, с гарантией до 5 лет.

Выбор кабелей сведен в таблицу 6.

Таблица 6 – Выбор кабелей для электроснабжения помещений

Участок, № помещения	Ip, А	Кабель	Idоп, А	ΔU, %
питание от ГРЩ				
1	63,10	NYM-5·10	70	1,31
2	207,85	NYM-4·70+1·35	225	0,49
3	35,95	NYM-5·4	38	1,74
4	18,84	NYM-5·2,5	27	1,03
5	24,48			0,38
6	27,29	NYM-5·4	38	1,02
7	12,88	NYM-5·2,5	27	1,29
8	52,63	NYM-5·10	70	0,46
9	31,9	NYM-5·4	38	0,25
10				0,99

Продолжение таблицы 6

Участок, № помещения	Ip, А	Кабель	Iдоп, А	ΔU, %
11	31,9	NYM-5·4	38	1,59
12				1,08
13				1,98
14				1,14
15	6,32	NYM-5·2,5	27	1,18
16	130,43	NYM-4·35+1·25	135	1,59
ввод ГРЩ	767,63	2·NYM-4·120+1·70	770	0,43
питание от РП				
17	69,74	NYM-5·10	70	1,32
18	7,78	NYM-3·2,5	30	0,23
19	44,55	NYM-3·6	60	1,49
20	10,52	NYM-3·2,5	30	0,25
21	113,05	NYM-4·25+1·16	115	0,28
22	11,46	NYM-3·2,5	30	1,31
23	12,27	NYM-3·2,5	30	1,56
ввод РП	154,08	NYM-4·50+1·25	185	0,47

Далее определяются токи КЗ в электрической сети.

2.7 Расчет токов короткого замыкания, проверка кабелей по термической стойкости

«Расчёт токов короткого замыкания – важный этап проектирования и анализа работы электрических систем. Этот процесс позволяет определить возможные КЗ, оценить их последствия и выбрать подходящие средства защиты. КЗ возникают из-за нарушения изоляции, ошибок в монтаже или эксплуатации оборудования, а также при перегрузке сети. Они могут привести к серьёзным авариям, таким как пожары, взрывы и поражение

людей электрическим током. Для расчёта токов КЗ используются специальные методы и формулы. Один из наиболее распространённых методов – метод именованных единиц, который учитывает действительные режимы работы и характеристики элементов системы электроснабжения. После проведения расчётов можно определить токи КЗ для различных точек электрической сети и выбрать подходящие средства защиты, такие как автоматические выключатели, реле и другие устройства» [12].

«Расчетная схема и схема замещения показаны на рисунке 5.

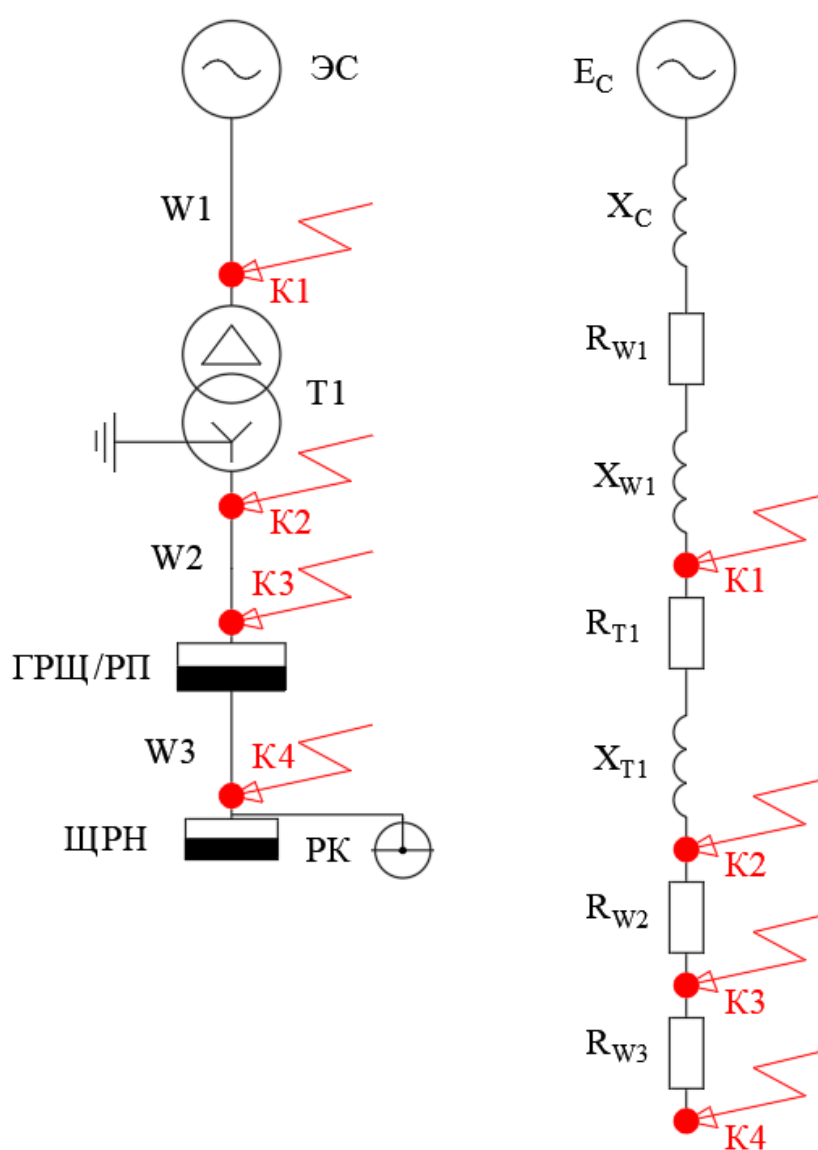


Рисунок 5 – Расчетная схема и схема замещения

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

$$X_c = \frac{U_{\kappa}}{\sqrt{3} \cdot I_{\kappa.з.ФИД}^{(3)}}, \quad (18)$$

где U_{κ} – напряжение КЗ, кВ;

$I_{\kappa.з.ФИД}^{(3)}$ – 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:

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

где ΔP_{κ} – потери КЗ, кВт;

$U_{н.в.}$ – напряжение ВН, кВ;

S_n – номинальная мощность, кВА.

$$Z_m = \Delta U_{\kappa} / 100 \cdot 10^2 / S_n, \quad (22)$$

где ΔU_{κ} – 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» [12]:

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

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

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

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

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

«Трехфазный 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» [12].

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

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

Двухфазный и однофазный токи КЗ:

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

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

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

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

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)	1,0180	1,8712	0,8814	0,5579
К3 (РП-2)	1,0179	1,8711	0,8815	0,5598

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	0,9915	1,8226	0,8586	0,5453
2	0,9925	1,8243	0,8595	0,5459
3	0,9915	1,8225	0,8586	0,5453
4	0,9913	1,8222	0,8585	0,5452
5	0,9921	1,8238	0,8592	0,5457
6	0,9917	1,8229	0,8588	0,5454
7	0,9901	1,8200	0,8574	0,5446
8	0,9923	1,8241	0,8593	0,5458
9	0,9923	1,8241	0,8594	0,5458
10	0,9918	1,8231	0,8589	0,5455

Продолжение таблицы 8

место КЗ, РК/ЩРН помещения №	$I^{(3)}_K$, кА	I_y , кА	$I^{(2)}_K$, кА	$I^{(1)}_K$, кА
11	0,9913	1,8223	0,8585	0,5452
12	0,9909	1,8215	0,8581	0,5450
13	0,9910	1,8217	0,8582	0,5451
14	0,9906	1,8209	0,8579	0,5448
15	0,9883	1,8167	0,8558	0,5436
16	0,9922	1,8239	0,8593	0,5457
17	0,9919	1,8232	0,8589	0,5455
18	-	1,8226	-	0,5453
19		1,8223		0,5452
20		1,8229		0,5454
21	0,9924	1,8243	0,8594	0,5458
22	-	1,8170	-	0,5437
23		1,8162		0,5434

«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 ТП):

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

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

«Сечения жил всех выбранных кабелей превышают минимальное термически устойчивое сечение, замена не требуется» [8].

2.8 Выбор аппаратов защиты линий

«Автоматические выключатели – это электрические устройства, предназначенные для защиты проводов, кабелей и электроприборов от перегрузок и коротких замыканий. Они являются основным аппаратом в сфере распределения электроэнергии и обеспечивают безопасную и надёжную работу электропроводки. Конструкция автоматического выключателя (АВ) включает силовые контакты, катушку и сердечник, механизм взвода и расцепления, дугогасительную камеру и биметаллическую пластину. Эти элементы отвечают за коммутацию, электромагнитный расцепитель и тепловой расцепитель соответственно» [3].

«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:

$$I_{т.р.} > 1,1 \cdot 63,1 = 69,4 \text{ А.}$$

Выбираем АВ серии ВА-47-100 на номинальный ток 80 А. Выбор АВ для защиты КЛ силовой сети сведен в таблицу 9» [10].

Таблица 9 – Выбор автоматических выключателей

Участок, № помещения	I_p , А	$1,1 \cdot I_p$, А	Выключатель	$I_{ном}$, А	
1	63,10	69,4	ВА-47-100	80	
2	207,85	228,6	ВА-52-39	250	
3	35,95	39,5	ВА-47-29	40	
4	18,84	20,7		25	
5	24,48	26,9		32	
6	27,29	30,0			
7	12,88	14,2		16	
8	52,63	57,9		63	
9	31,9	35,1			40
10					
11					
12					
13					
14	28,33	31,2		32	
15	6,32	7,0		8	
16	130,43	143,5	ВА-52-39	160	
ввод ГРЩ	767,63	844,4		1000	
17	69,74	76,7	ВА-47-100	80	
18	7,78	8,6	ВА-47-29	10	
19	44,55	49,0		50	
20	10,52	11,6		13	
21	113,05	124,4	ВА-47-100	125	
22	11,46	12,6	ВА-52-39	13	
23	12,27	13,5	ВА-47-29	16	
ввод РП	154,08	169,5	ВА-52-39	250	

Линия 10 кВ до ТП и силовые трансформаторы ТП будут защищаться микропроцессорной релейной защитой, установленной на питающем фидере 10 кВ.

Микропроцессорные устройства релейной защиты (МУРЗ) представляют собой современное оборудование, которое использует компьютерные технологии на базе процессоров вместо традиционных электромеханических и статических реле. Они выполняют функции РЗА на основе микроконтроллеров и обеспечивают более компактные и удобные решения для панелей РЗА.

Основные преимущества МУРЗ включают:

- компактность размещения оборудования на панелях РЗА;
- управление через сенсорный экран и дисплей;
- «возможность реализации дополнительных функций, таких как регистрация процессов аварийного состояния, опережение отключения потребителей и дальнейшее резервирование» [2].

Однако у микропроцессорных устройств релейной защиты есть и недостатки: высокая стоимость и низкая ремонтпригодность. В некоторых случаях замена неисправной детали может потребовать замены материнской платы, что увеличивает общую стоимость оборудования. Несмотря на эти недостатки, микропроцессорные системы релейной защиты продолжают развиваться и улучшаться, обеспечивая более высокую надёжность и эффективность работы.

«Защита 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» [2].



Рисунок 6 – Терминал BMP3-101-Д-КЛ-01

Далее, с учетом результатов проведенных ранее расчетов рабочих и аварийных режимов, выбирается оборудование ТП.

2.9 Выбор основного электрооборудования подстанции и его проверка

«Выключатели нагрузки – высоковольтные коммутационные аппараты, способные отключать как номинальные нагрузочные токи, так и сверхтоки при аварийных режимах. Они занимают промежуточное положение между разъединителями и выключателями и допускают коммутацию номинального тока, но не рассчитаны на разрыв токов при коротком замыкании. Выключатели нагрузки применяются в распределительных устройствах и подстанциях 6–10 кВ и допускают коммутацию до нескольких МВА в зависимости от конструкции и номинального тока» [10].

«Критерии выбора высоковольтных выключателей нагрузки (ВН):

$$U_{ном} \geq U_{раб}, \text{ кВ}, \quad (32)$$

$$I_{ном} \geq I_{раб}, \text{ кВ}, \quad (33)$$

$$I_m^2 \cdot t_m \geq B_\kappa, \text{ кА}^2 \cdot \text{с}, \quad (34)$$

где I_m – ток термической стойкости, кА;

t_m – время протекания тока, с;

B_κ – тепловой импульс, $\text{кА}^2 \cdot \text{с}$.

$$B_\kappa = I_\kappa^2 \cdot (t_{откл} + T_a), \text{ кА}^2 \cdot \text{с}, \quad (35)$$

где $t_{откл}$ – время КЗ, с.

$$t_{откл} = t_{р.з.} + t_{откл.В}, \text{ с}, \quad (36)$$

где $t_{р.з.}$ – время срабатывания РЗ, с;

$t_{откл.В}$ – время отключения выключателя, с» [20].

$$t_{откл} = 0,025 + 0,1 = 0,125 \text{ с},$$

$$B_\kappa = 1,8342^2 \cdot (0,125 + 0,07) = 0,44 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

«Наибольший ток на РУ 10 кВ подстанции, при наибольшей перегрузке трансформатора 40 %:

$$I_{макс} = \frac{S_{н.т.} \cdot 1,4}{\sqrt{3} \cdot U_n}, \quad (37)$$

$$I_{макс} = \frac{400 \cdot 1,4}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 30,8 \text{ А}.$$

Выбираются выключатели нагрузки ВНРп-10/400-10з, внешний вид показан на рисунке 7.

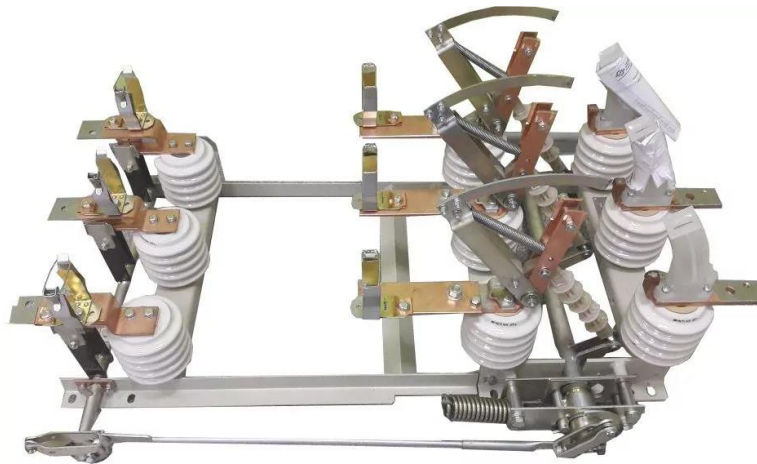


Рисунок 7 – Выключатель нагрузки

Проверка ВН по условиям выбора:

$$U_{ном} = 10 \text{ кВ} \geq U_{раб} = 10 \text{ кВ},$$

$$I_{ном} = 400 \text{ А} \geq I_{раб} = 30,8 \text{ А},$$

$$I_m^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} \geq B_k = 0,44 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

ВН подходят по всем условиям.

Разъединители — это контактные коммутационные аппараты, предназначенные для создания видимого разрыва в цепях при выводе оборудования в ремонт и снятия напряжения с обесточенных частей электроустановки. Они не имеют дугогасительных устройств, поэтому их коммутационная способность невелика. Разъединители запрещается использовать для отключения цепей под током и включения цепей под нагрузкой. Однако существуют специальные блокировки, предотвращающие ошибочное включение и отключение цепи разъединителем при включённом выключателе той же цепи.

Критерии выбора разъединителей:

$$U_{н.ант.} \geq U_{н.уст.}, \quad (38)$$

$$I_{н.анп.} \geq I_{раб.мах.}, \quad (39)$$

$$I_{тер.}^2 \cdot t_{тер.} \geq B_{\kappa}, \quad (40)$$

$$i_{дин} \geq i_{y.}, \quad (41)$$

где $i_{дин}$ – динамическая стойкость по паспорту, кА.

Выбираются разъединители РВ-10/400, внешний вид показан на рисунке 8.

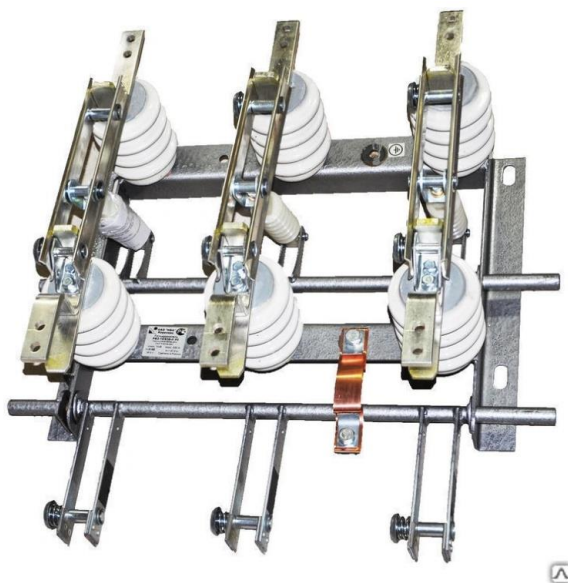


Рисунок 8 – Разъединитель РВ-10

Проверка разъединителей» [20]:

$$U_{н.анп.} = 10 \text{ кВ} \geq U_{н.уст.} = 10 \text{ кВ},$$

$$I_{н.анп.} = 400 \text{ А} \geq I_{раб.мах.} = 30,8 \text{ А},$$

$$I_{тер.}^2 \cdot t_{тер.} = 3600 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} \geq B_{\kappa} = 0,44 \text{ кА}^2 \cdot \text{с},$$

$$i_{дин} = 80 \text{ кА} \geq i_{y.} = 4,6683 \text{ кА}.$$

Принимаются ОПНп-10, внешний вид – на рисунке 9.



Рисунок 9 – Внешний вид ОПН

Наибольший ток на РУ 0,4 кВ подстанции, по (35):

$$I_{\text{макс}} = \frac{400 \cdot 1,4}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 808,3 \text{ А.}$$

Принимаются трансформаторы тока (ТТ) марки ТШЛ-0,66/1000 (200...800 А на фидерах).

«Условия выбора ТТ:

$$U_{\text{н.апп.}} \geq U_{\text{н.уст.}}, \quad (42)$$

$$I_{1\text{н.}} \geq I_{\text{раб.макс.}}. \quad (43)$$

Проверка на термическую и динамическую стойкость:

$$(\kappa_{\text{тер.}} \cdot I_{1\text{н.}})^2 \cdot t_{\text{тер.}} \geq B_{\kappa}, \quad (44)$$

$$i_{\text{дин.}} = \kappa_{\text{эд}} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{1\text{н.}} \geq i_{\text{у.}} \quad (45)$$

где $\kappa_{\text{тер.}}$, $\kappa_{\text{эд}}$ – кратности стойкости;

$I_{1\text{н.}}$ – номинальный ток ТТ, кА» [20].

Проверка выбранных ТТ:

$$\begin{aligned}
 U_{н.анн.} &= 0,66 \text{ кВ} \geq U_{н.уст.} = 0,4 \text{ кВ}, \\
 I_{1н.} &= 1000(200...800) \text{ А} \geq I_{раб.мах.} = 808,3(154,08...767,63) \text{ А}, \\
 (110 \cdot 0,2)^2 \cdot 3 &= 1452 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} > 0,21 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}, \\
 375 \cdot \sqrt{2} \cdot 0,2 &= 106 \text{ кА} > 1,8713 \text{ кА}.
 \end{aligned}$$

«Сопротивление нагрузки:

$$Z_{2\Sigma} = Z_{приб.} + Z_{пров.} + Z_{конт.}, \quad (46)$$

где $Z_{приб.}$, $Z_{пров.}$, $Z_{конт.}$ – сопротивление приборов, проводов и контактов, Ом.

$$Z_{пров.} = \frac{l_{пров.} \cdot \rho}{S_{пров.}}, \quad (47)$$

где $l_{пров.}$ – длина проводов, м;

ρ – удельное сопротивление, Ом·мм²/м;

$S_{пров.}$ – сечение, мм².

$$Z_{приб.} = \frac{S_{приб.}}{I_{н.приб}^2}, \quad (48)$$

где $S_{приб.}$, $I_{н.приб}$ – мощность, В·А, и рабочий ток прибора, А» [20].

$$S_{приб.} = \frac{1}{5^2} = 0,04 \text{ Ом},$$

$$Z_{пров.} = \frac{25 \cdot 0,0175}{4} = 0,109 \text{ Ом},$$

$$Z_{2\Sigma} = 0,04 + 0,109 + 0,1 = 0,249 \text{ Ом}.$$

Погрешность ТТ составит менее 10% [18].

Внешний вид ТТ – на рисунке 10.



Рисунок 10 – Трансформаторы тока ТШЛ-0,66

Выбираются камеры секционные односторонние (КСО).

«КСО – это устройства, предназначенные для приёма и распределения электрической энергии трёхфазного переменного тока частотой 50 Гц напряжением 6 и 10 кВ в сетях с изолированной или заземлённой через дугогасительный реактор или резистор нейтралью. Они применяются в распределительных устройствах любой сложности и состоят из отдельных камер, которые собираются в соответствии с определёнными схемами. Конструкция КСО представляет собой сварную металлоконструкцию из листовых гнутых профилей, внутри которой размещается аппаратура главных цепей. Рукоятки приводов и аппаратов управления расположены с фасадной стороны камеры. Доступ в камеру обеспечивают две двери: верхняя – в зону выключателя, нижняя – в зону кабельных присоединений. Стандартное оснащение КСО включает силовые выключатели, выключатели нагрузки, разъединители, заземлители, трансформаторы силовые, трансформаторы напряжения и тока, ограничители перенапряжений и устройства защиты и автоматики» [14].

Выбираются камеры КСО-298/630А, внешний вид – на рисунке 11.

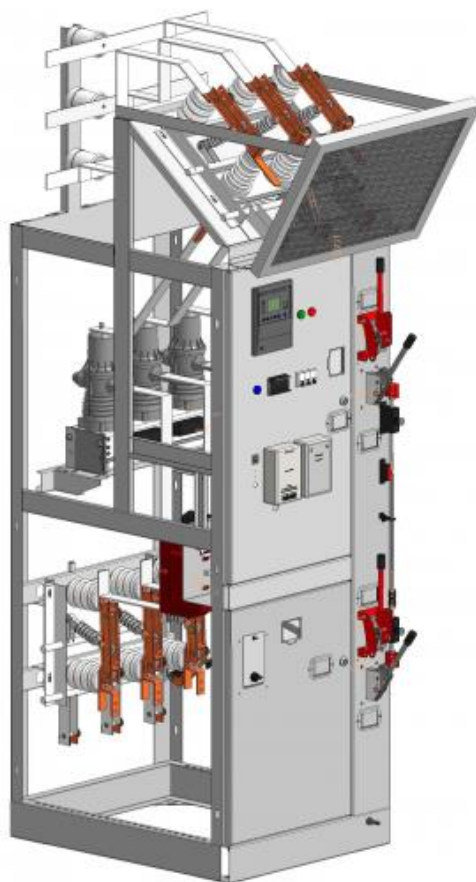


Рисунок 11 – Внешний вид КСО-298

Автоматический ввод резерва (АВР) на шинах 0,4 кВ выполняется на терминале БМРЗ-107-Д-АВР-20.

«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 12.

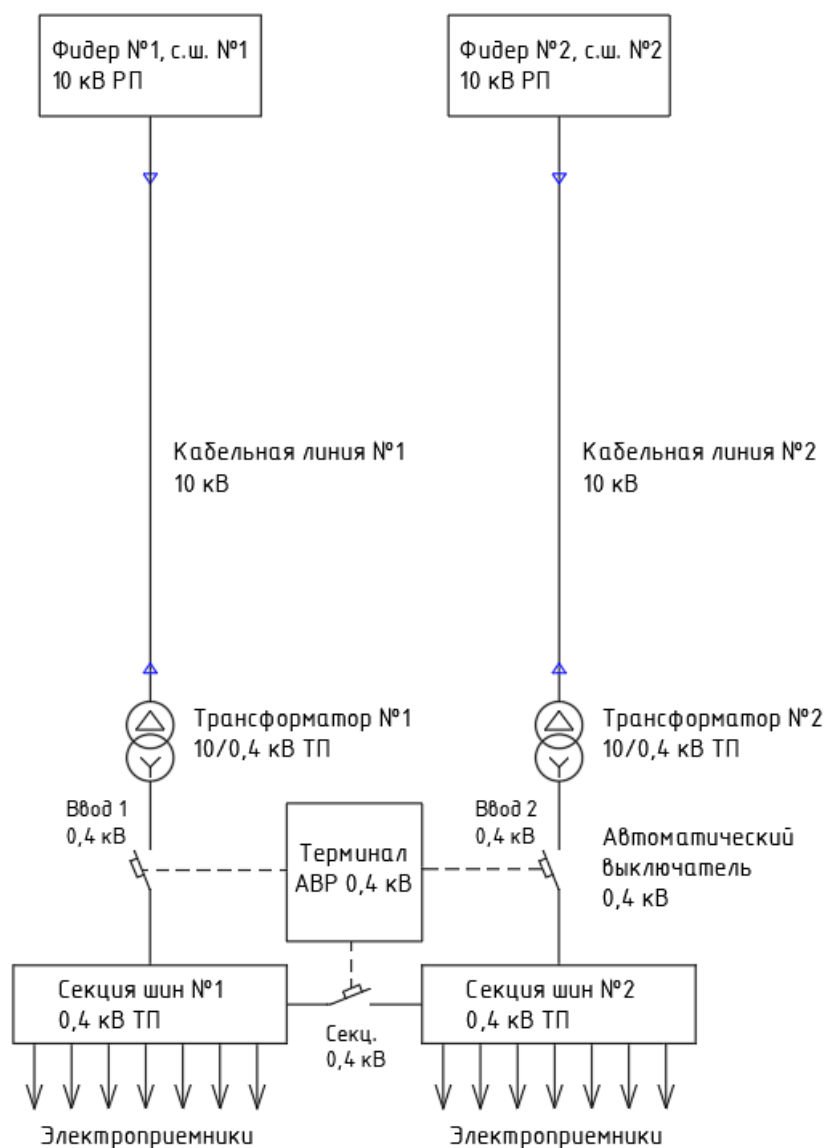
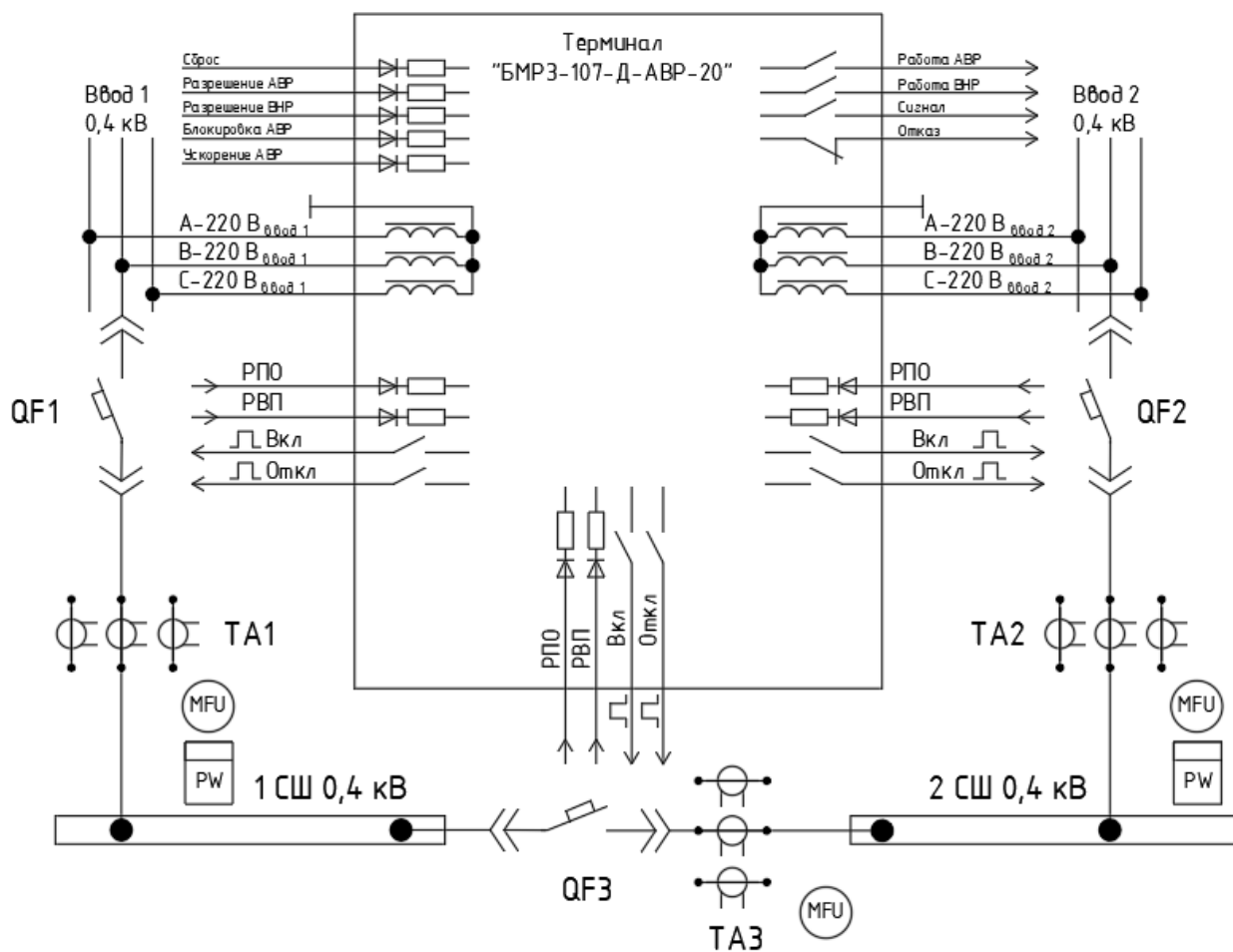


Рисунок 12 – Упрощенная схема АВР

Схема подключения терминала приведена на рисунке 13.



Зона	Поз. обозн.	Обозначение	Кол.	Примечание
		Автоматические выключатели		
	QF1..QF3	ВА-52-39	3	
		Трансформаторы тока		
	TA1..TA3	ТШЛ-0,66-УЗ	9	

Рисунок 13 – Схема подключения терминала АВР

Уставка пускового органа минимального напряжения:

$$U_{C.P} = 0,7 \cdot U_{НОМ}, \quad (49)$$

где $U_{НОМ}$ – напряжение сети, В.

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

Уставка реле напряжения на резервном вводе:

$$U_{C.P} = (0,6 \div 0,65) \cdot U_{НОМ}, \quad (50)$$

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

Уставка реле:

$$t_{C.P.ABP} = t_1 + \Delta t, \quad (51)$$

где t_1 – время отключения, с;

Δt – ступень селективности, с» [6].

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

Выводы.

Выполнена разработка системы электроснабжения центра охраны здоровья животных. Составлен план распределительной сети для питания помещений. Рассчитаны рабочие и аварийные режимы электрической сети, согласно результатам расчетов выбрано современное электрооборудование отечественного производства. Спроектирована энергоэффективная система освещения помещений на основе светодиодных светильников, выбраны число и марки светильников для каждого помещения, составлен план системы освещения. Также энергоэффективная работа СЭС будет обеспечиваться установкой на ТП энергосберегающих силовых трансформаторов и автоматических установок компенсации реактивной мощности. Выбрано и проверено по техническим параметрам электрооборудование подстанции.

Заключение

Ввод в эксплуатацию и дальнейшая работа ЦОЗЖ невозможна без его надежного и безопасного электроснабжения, что и обуславливает актуальность и важность разработки системы электроснабжения ЦОЗЖ в данной работе. Питание электрической энергией помещений ЦОЗЖ обеспечит работу лабораторного оборудования, компьютерной техники, освещения и других потребителей, что позволит осуществить ввод в эксплуатацию и дальнейшую работу ЦОЗЖ. Выполнена разработка системы электроснабжения центра охраны здоровья животных. Составлен план распределительной сети для питания помещений. Помещения будут питаться электрической энергией от наружных распределительных щитков и распределительных коробок, установленных в каждом из них отдельно. Все ЩРН и РК, в свою очередь, будут питаться по кабельным линиям от главного распределительного щита и распределительного пункта, установленных внутри здания. Рассчитана питающая линия 10 кВ до подстанции, выбраны кабели марки АПвП-3·16. Для внутренней распределительной сети выбраны кабели марки NYM. Все линии проверены по потерям напряжения. Разработана энергоэффективная система освещения помещений на основе светодиодных светильников марок UNIEL ULY-U42C 200W и VPO-01-PP-40, составлен план системы освещения. Выбрана ТП марки 2КТПН-400/10/0,4, выбрано и проверено по техническим параметрам ее электрооборудование. Выбранные силовые трансформаторы ТМГ12 отличаются энергоэффективностью, это позволяет снижать потери электроэнергии при работе трансформатора на высокую постоянную или сезонную нагрузку. Выбрано оборудование РЗА на основе микропроцессорных терминалов серии БМРЗ.

Предлагаемая система электроснабжения планируется к реализации по мере постройки здания ЦОЗЖ, надежное и безопасное электроснабжение помещений 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. Комков В. А. Энергосбережение в жилищно-коммунальном хозяйстве : учебное пособие. – 2-е изд. М. : ИНФРА-М, 2022. 204 с.
10. Немировский А. Е. Электрооборудование электрических сетей, станций и подстанций : учебное пособие. М. : Инфра-Инженерия, 2023. 176 с.
11. Ополева Г.Н. Электроснабжение промышленных предприятий и городов: Учебное пособие. М. : Форум, 2022. 416 с.
12. Петухов Р.А. Электроснабжение : учебное пособие. Красноярск : Сибирский федеральный университет, 2022. 328 с.

13. Правила устройства электроустановок: действующие разделы 6-го и 7-го изданий. М. : ИНФРА-М, 2023. 832 с.
14. Сибикин Ю. Д. Современные электрические подстанции : учебное пособие. – 2-е изд., доп. М. : ИНФРА-М, 2023. 417 с.
15. Сибикин Ю. Д. Технология энергосбережения : учебник. – 4-е изд., перераб. и доп. М. : ИНФРА-М, 2023. 336 с.
16. Сибикин Ю.Д. Электроснабжение : учебное пособие. – 2-е изд., стер. М. : ИНФРА-М, 2023. 328 с.
17. Шеховцов В. П. Осветительные установки промышленных и гражданских объектов : учебное пособие. М. : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2022. 158 с.
18. 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.
19. Шеховцов В.П. Справочное пособие по электрооборудованию и электроснабжению : учебное пособие. – 3-е изд. М. : ИНФРА-М, 2023. 136 с.
20. Щербаков Е. Ф. Электрические аппараты : учебное пособие. М. : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2022. 303 с.