

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 административно-делового центра в  
г. Обнинске

Обучающийся

А. С. Рогачев

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н. В. И. Платов

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

Тольятти 2024

## Аннотация

В работе осуществлено проектирование системы электроснабжения административно-делового центра (далее – АДЦ) г. Обнинск, Калужская область.

Проведён анализ исходных данных на выполнение работы, в том числе краткая характеристика помещений и потребителей АДЦ.

Для достижения поставленной цели, при разработке проекта системы электроснабжения (далее – СЭС) АДЦ, в работе проведена реализация следующих мероприятий по техническому проектированию объекта исследования:

- «расчёт электрических нагрузок СЭС АДЦ (освещения, силовой и суммарной);
- выбор силовых трансформаторов питающей подстанции;
- выбор проводников;
- расчёт токов короткого замыкания;
- выбор электрических аппаратов;
- выбор систем учёта и контроля электроэнергии и релейной защиты» [9] для применения в СЭС АДЦ.

Работа содержит 62 страницы пояснительной записки и 6 графических листов.

## Содержание

Введение .....	4
1 Анализ исходных данных на выполнение работы.....	7
1.1 Краткая характеристика помещений и потребителей АДЦ .....	7
1.2 Требования нормативных документов к системам электроснабжения административных сооружений .....	12
2 Реализация мероприятий по проектированию системы электроснабжения АДЦ.....	15
2.1 Выбор схемы системы электроснабжения АДЦ.....	15
2.2 Расчет электрических нагрузок АДЦ.....	19
2.3 Выбор силовых трансформаторов питающей подстанции АДЦ .....	28
2.4 Выбор проводников .....	30
2.5 Расчёт токов КЗ .....	37
2.6 Выбор электрических аппаратов .....	44
3 Выбор систем учёта и контроля электроэнергии и релейной защиты .....	52
3.1 Выбор системы учёта и контроля электроэнергии.....	52
3.2 Выбор системы релейной защиты.....	55
Заключение .....	58
Список используемых источников.....	61

## Введение

Состояние и развитие административно-деловых центров в Российской Федерации характеризуется динамичным ростом и модернизацией, обусловленными стремлением улучшить инфраструктуру для поддержки деловой активности и повышения эффективности управленческих процессов. Эти центры играют ключевую роль в экономическом и социальном развитии регионов, являясь не только местами сосредоточения управленческих структур, но и драйверами инноваций и бизнес-активности.

В последние годы наблюдается тенденция к переосмыслению функциональной наполненности и визуального оформления административно-деловых центров.

Современные подходы к урбанистическому планированию и архитектуре стремятся создать многофункциональные пространства, которые могли бы эффективно сочетать офисные помещения с общественными зонами, зонами отдыха и зелеными насаждениями.

Такое решение направлено на повышение качества рабочей среды и общей жизни городских жителей.

Также важным аспектом развития административно-деловых центров является интеграция современных технологий и систем умного города, что включает в себя автоматизацию процессов управления зданиями, энергоэффективность и безопасность.

Применение инновационных технологий позволяет оптимизировать эксплуатационные расходы, сократить воздействие на окружающую среду и улучшить условия труда для сотрудников.

Развитие административно-деловых центров в России также связано с укреплением экономических связей между регионами.

Данный аспект способствует росту взаимной интеграции, обмену опытом и распространению лучших практик в области управления и бизнеса.

Сегодня административно-деловые центры становятся платформами для проведения крупных международных и региональных форумов, конференций и деловых встреч, что способствует повышению международного и регионального статуса городов.

Таким образом, АДЦ играют многогранную роль в жизни города и его жителей, предоставляя им возможности для деловых отношений, культурного развития, общественного взаимодействия, развлечения, образования и экономического развития.

Следовательно, они должны быть обеспечены всеми необходимыми энергетическими коммуникациями, которые обеспечивают надёжное функционирование всех систем жизнеобеспечения, а также безопасность людей. Кроме того, их схемные решения должны соответствовать принятым стандартам и нормам. В противном случае необходимо внедрять эффективные мероприятия по реконструкции и модернизации СЭС данных объектов, с учётом их оборудования. Однако на практике такое возможно далеко не всегда, следовательно, оптимальным способом достичь заданного уровня надёжности, экономичности и безопасности в СЭС АДЦ является стадия проектирования.

«Данные аспекты определяют актуальность и практическую ценность настоящей работы.

Основной целью работы является реконструкция системы электроснабжения административно-делового центра г. Обнинск, Калужская область.

Объектом исследования является система электроснабжения административно-делового центра г. Обнинск, Калужская область.

Предметом исследования выступает комплекс технико-экономических параметров и характеристик системы электроснабжения объекта» [16] исследования (надёжность, безопасность, экономичность, экологичность и прочие аналогичные параметры и характеристики).

Актуальность работы обусловлена требованиями надёжности, бесперебойности, электробезопасности и экономической эффективности, которые предъявляются нормативно-правовыми документами к гражданским сооружениям [16], [17], [20].

«При разработке проекта системы электроснабжения АДЦ, в работе проводится реализация следующих мероприятий:

- расчёт электрических нагрузок СЭС АДЦ (освещения, силовой и суммарной);
- выбор силовых трансформаторов питающей подстанции;
- выбор проводников;
- расчёт токов короткого замыкания;
- выбор электрических аппаратов;
- выбор систем учёта и контроля электроэнергии и релейной защиты» [12] для применения в СЭС АДЦ.

## **1 Анализ исходных данных на выполнение работы**

### **1.1 Краткая характеристика помещений и потребителей АДЦ**

Как было установлено ранее, в работе проектируется СЭС АДЦ. Рассматриваемый в работе АДЦ расположен в г. Обнинск, Калужская область.

Известно, что административно-деловые центры в Российской Федерации выполняют важную роль в структуре городского развития и экономической жизни, обеспечивая централизованное пространство для ведения бизнеса и государственного управления. Эти центры служат основой для концентрации управленческих, финансовых и правовых функций, что способствует повышению эффективности и оперативности принятия решений на всех уровнях.

Основная роль административно-деловых центров заключается в создании благоприятных условий для развития предпринимательства и привлечения инвестиций. Расположение крупных компаний, банков, консультационных и юридических услуг в одном месте создает синергетический эффект, улучшая бизнес-климат и стимулируя экономическую активность в регионе.

Административно-деловые центры также выполняют функции культурных и информационных хабов, где проводятся значимые социальные, экономические и культурные мероприятия. Это способствует расширению деловых связей, обмену знаниями и опытом между различными субъектами экономики. Центры становятся местом встречи для предпринимателей, представителей власти и экспертов.

Кроме того, административно-деловые центры играют ключевую роль в формировании современного облика городов, улучшая архитектурный стиль и общественное пространство. Они способствуют реализации градостроительных стандартов и поддержанию высоких требований к

качеству городской среды, что влияет на общий комфорт и привлекательность города для жителей и гостей. Таким образом, административно-деловые центры оказывают многогранный положительный эффект на социально-экономическое развитие регионов, активизируя деловую активность и укрепляя институциональные основы для динамичного развития Российской Федерации.

Рассматриваемый в работе АДЦ относится ко 2 категории надёжности потребителей. Данный аспект необходимо учесть при разработке схемных решений в работе далее.

«В состав АДЦ, входят следующие типы помещений» [3]:

- административно-деловые помещения (комплексного типа);
- учебные классы;
- конференц-зал;
- зоны отдыха;
- приёмная директора АДЦ;
- спортивный зал и фитнес-центр;
- «кабинет врача;
- технические помещения с оборудованием жизнеобеспечения АДЦ (тепловой пункт, автономная система отопления, система кондиционирования и увлажнения воздуха, система пожаротушения, система фильтрации воздуха, система нагрева воды, система резервного водообеспечения, система резервного водоотведения, системы телекоммуникаций);
- санитарно-бытовые помещения;
- буфет;
- бытовые помещения: гардеробная, инвентарные помещения, кладовая и уборная инвентаря;
- прочие помещения» [19].

Административно-деловой центр, будучи multifunctional комплексом, объединяет в себе разнообразие помещений, каждое из которых



выполняет специфическую функцию, обеспечивая комплексное функционирование всего учреждения.

Административно-деловые помещения (комплексного типа) предназначены для размещения офисов различных компаний и организаций.

Эти пространства спроектированы таким образом, чтобы обеспечить максимальное удобство для сотрудников и клиентов, включая современные рабочие станции, переговорные комнаты и комнаты для видеоконференций, что способствует продуктивной рабочей атмосфере.

Учебные классы в административно-деловом центре оборудованы для проведения семинаров, тренингов и образовательных программ.

Они оснащены необходимой аудио- и видеотехникой, интерактивными досками и Wi-Fi, что делает их идеальной средой для обучения и развития персонала.

Конференц-зал предназначен для проведения крупных мероприятий, таких как конференции, симпозиумы и деловые встречи.

Это помещение обычно оснащено передовым оборудованием для презентаций и системами связи, что позволяет проводить мероприятия с участием международных делегатов.

Зоны отдыха созданы для того, чтобы предоставить сотрудникам место для релаксации и неформального общения.

Эти пространства часто включают элементы зелени, мягкую мебель и места для кофе-брейков, способствующие снижению стресса и повышению общего благополучия сотрудников.

Приёмная директора АДЦ оформлена так, чтобы отражать статус и корпоративный стиль учреждения.

Такое пространство используется для встреч с VIP-гостями и важными клиентами, где каждая деталь интерьера подчеркивает серьезность и профессионализм организации.

Спортивный зал и фитнес-центр предлагают сотрудникам возможности для занятий спортом и поддержания физической формы.

Наличие таких объектов в здании способствует улучшению здоровья и производительности работников.

Кабинет врача обеспечивает первичную медицинскую помощь и профилактические мероприятия для сотрудников, что является важной частью корпоративной политики заботы о здоровье персонала.

Технические помещения с оборудованием жизнеобеспечения АДЦ включают различные системы, обеспечивающие бесперебойную работу всего здания.

Такие помещения включают в себя тепловые пункты, «системы отопления, кондиционирования, увлажнения воздуха, пожаротушения, фильтрации воздуха, нагрева воды, резервного водообеспечения и водоотведения, а также телекоммуникационные системы.

Санитарно-бытовые помещения, буфет и бытовые помещения, такие как гардеробные, инвентарные помещения, кладовые и уборные» [19] для инвентаря, служат для обеспечения повседневных потребностей сотрудников и посетителей.

Прочие помещения служат специфическим нуждам административно-делового центра.

В совокупности, все помещения формируют функциональную и комплексную структуру, которая обеспечивает эффективную поддержку всех процессов и операций, происходящих в административно-деловом центре.

Административно-деловой центр, как многофункциональное учреждение, интегрирует широкий спектр помещений и служб, каждое из которых выполняет специфические функции, направленные на поддержку эффективной работы и удобства как сотрудников, так и посетителей.

Дополнительные удобства, такие как фитнес-центр и медицинский кабинет, способствуют улучшению благополучия сотрудников, а технические и поддерживающие помещения обеспечивают бесперебойную и безопасную работу здания.

Состав и характеристика АДЦ представлены в форме таблицы 1.

Таблица 1 – Состав и характеристика помещений АДЦ

Наименование помещений	Номер по плану	Площадь помещений, м <sup>2</sup>
Лестничная клетка	1	17,77
Буфет	2	23,84
Учебный класс	3	9,68
Сан. узел	4	3,08
Коридор	5	64,77
Зона отдыха	6	24,60
Сан. узел	7	3,0
Учебный класс	8	9,6
Конференц-зал	9	106,92
Административно-деловые помещения	10	976,23
Техническое помещение	11	25,53
Техническое помещение	12	24,81
Тамбур	13	18,56
Буфет	14	65,83
Гардеробная	15	65,83
Вестибюль	16	261,0
Лестничная клетка	17	16,91
Помещение охраны	18	8,09
Лестничная клетка	19	16,80
Административно-деловые помещения	20	206,83
Инвентарная	21	17,39
Административно-деловые помещения	22	200,82
Инвентарная	23	17,39
Спортивный зал и фитнес-центр	24	200,92
Инвентарная	25	17,39
Зона отдыха	26	24,72
Учебный класс	27	11,14
Сан. узел	28	3,48
Учебный класс	29	11,22
Сан. узел	30	3,52
Зона отдыха	31	23,34
Электрощитовая	32	14,62
Лестничная клетка	33	17,42
Учебный класс	34	6,40
Техническое помещение	35	27,32
Сан. узел	36	4,10
Сан. узел	37	3,52
Зона отдыха	38	5,20
Учебный класс	39	3,58
Приёмная директора АДЦ	40	18,04
Кабинет врача	41	16,11
Сан. узел для МГН	42	3,26
Сан. узел	43	6,08
Сан. узел	44	6,02
Тепловой пункт	45	16,79
Кладовая и уборная инвентаря	46	11,68
Коридор	47	191,42

Расположение помещений проектируемого АДЦ, указанных в таблице 1, показано на графическом листе 1.

Следовательно, учитывая всю приведённую информацию установлено, что административно-деловые центры представляют собой важные узлы городской инфраструктуры, способствующие не только деловой активности, но и общему социально-экономическому развитию региона.

Таким образом, при дальнейшей «разработке проекта системы электроснабжения административно-делового центра г. Обнинск, Калужская область, необходимо учесть совокупность приведённых исходных технических данных» [3].

## **1.2 Требования нормативных документов к системам электроснабжения административных сооружений**

«В соответствии с нормативными требованиями Российской Федерации, системы электроснабжения административных сооружений должны быть спроектированы таким образом» [9], чтобы обеспечить надежность, безопасность и эффективность энергопотребления.

Эти требования охватывают аспекты, начиная от выбора оборудования и заканчивая автоматизацией управления энергосистемами, что способствует созданию оптимальной и стабильной рабочей среды.

Одним из ключевых аспектов является категория надежности электроснабжения, которая определяется в зависимости от значимости административного сооружения и потенциальных последствий от возможного прерывания питания.

Для объектов критического значения предписывается использование нескольких независимых источников питания, что обеспечивает непрерывное электроснабжение даже в случае аварий на основных линиях электропередач.

Компенсация реактивной мощности также играет важную роль в повышении эффективности системы электроснабжения. Применение

устройств для компенсации реактивной мощности позволяет улучшить качество электроэнергии, снизить потери в электрических сетях и уменьшить нагрузку на элементы электросети, что важно для увеличения срока их службы и снижения вероятности возникновения технических сбоев [9].

Выбор оборудования для систем электроснабжения должен осуществляться с учетом требований по энергоэффективности и надежности.

Использование современного, сертифицированного и хорошо зарекомендовавшего себя электротехнического оборудования способствует оптимизации потребления электроэнергии и уменьшению эксплуатационных расходов [8].

Автоматизация систем электроснабжения в административных зданиях позволяет повысить уровень управления и контроля за работой всех элементов системы.

Разработка и внедрение интеллектуальных систем управления, основанных на данных в реальном времени, обеспечивает возможность мониторинга и анализа энергопотребления, автоматическую коррекцию работы системы при изменении нагрузок и оперативное реагирование на аварийные ситуации.

Разработка схем электроснабжения для административных сооружений требует тщательного планирования и проектирования.

Схемы должны быть разработаны с учетом всех возможных рисков и потребностей здания, обеспечивать легкость доступа к элементам системы для быстрого обслуживания и ремонта, а также возможность модернизации и расширения системы в будущем.

В совокупности, эти требования направлены на создание безопасной, надежной и экономически эффективной системы электроснабжения, которая будет способствовать стабильной и эффективной работе административных сооружений.

При проектировании систем электроснабжения для административных сооружений в Российской Федерации особое внимание уделяется созданию

условий для оптимального сочетания функциональности, безопасности и устойчивости к внешним воздействиям.

Сложность этой задачи обусловлена широким спектром требований к надежности энергоснабжения и оперативности реагирования на потенциальные изменения в энергопотреблении.

Поэтому в процессе проектирования таких систем электроснабжения необходимо находить оптимальные решения, учитывающие баланс технических решений с одной стороны и экономических – с другой.

При таком подходе спроектированная СЭС будет наиболее надёжной, экономичной и безопасной.

Выводы по разделу.

В работе проведено описание исходных данных на выполнение работы с последующим их анализом.

Определено, что проектируемый АДЦ относится ко 2 категории надёжности потребителей. Данный аспект необходимо учесть при разработке схемных решений в работе далее.

Установлено, что в состав АДЦ, входят помещения, которые выполняют свою функциональную задачу на объекте проектирования.

Определено, что в процессе проектирования системы электроснабжения АДЦ необходимо находить оптимальные решения, учитывающие баланс технических решений с одной стороны и экономических – с другой.

При таком подходе спроектированная СЭС будет наиболее надёжной, экономичной и безопасной.

## **2 Реализация мероприятий по проектированию системы электроснабжения АДЦ**

### **2.1 Выбор схемы системы электроснабжения АДЦ**

Далее в работе, на основании систематизации технических данных объекта проектирования, а также анализа современных норм технологического проектирования систем электроснабжения гражданских сооружений, проводится выбор решений по выбору схемных решений в системе электроснабжения административно-делового центра г. Обнинск, Калужская область.

Как известно, что на выбор рациональной схемы электроснабжения АДЦ оказывают влияние многочисленные факторы.

К ним относятся максимальная нагрузка потребителей и всего объекта в целом, категория надёжности объекта, расположение потребителей на территории объекта, расстояние до питающей подстанции энергосистемы, номинальные классы напряжения на шинах энергосистемы и прочие факторы.

Внешнее электроснабжение АДЦ г. Обнинск, Калужская область «планируется осуществить от трансформаторной подстанции ТП-10/0,4 кВ.

Так как объект проектирования относится ко II категории надёжности, следовательно, на каждой ступени его системы электроснабжения должны соблюдаться условия резервирования.

Известно, что для объектов, относящихся ко II категории надёжности, требуется два независимых источника питания» [9].

По этой причине, в СЭС АДЦ применяется питающая ТП-10/0,4 кВ, на которой устанавливается два силовых трансформатора.

Известно, что помимо условий резервирования, в СЭС II категории надёжности, к которым относится АДЦ, должны выполняться требования по схемам.

Исходя из них, на объекте принимаются для питания потребителей на всех уровнях СЭС радиальные схемы с резервированием, которые значительно надёжнее магистральных схем. Таким образом, условия резервирования будут обеспечены.

Роль резервирования, помимо второго источника питания, также выполняют устройства автоматики. К ним относится автоматическое повторное включение (АПВ), применяющееся в схеме ЭС объекта на сборных шинах всех источников питания на объекте.

Таким образом, указанные принципы внедряются в схему СЭС АДЦ объекта проектирования.

При этом СЭС АДЦ условно разделяется на внешнюю и внутреннюю часть (подсистемы).

Питание внешней части СЭС (и всего СЭС АДЦ в целом) осуществляется от двухтрансформаторной подстанции 10/0,4 кВ, которую планируется соорудить в непосредственной близости к АДЦ.

Указанная подстанция будет питаться от энергосистемы двумя кабельными линиями напряжением 10 кВ. При этом резервирование будет осуществляться на питающем источнике энергосистемы напряжением 10 кВ.

Внешнее электроснабжение АДЦ предложено осуществляется кабельной линией напряжением 0,38/0,22 кВ с применением двух силовых кабелей напряжением 10 кВ.

Следовательно, вводное распределительное устройство (далее – ВРУ-0,4 кВ) АДЦ будет иметь два ввода.

На стороне 0,4 кВ питающей ТП-10/0,4 кВ осуществляется необходимое резервирование [9].

Такая схема внешнего электроснабжения соответствует требованиям, предъявляемым к объектам второй категории надёжности нормативными документами [9].

Таким образом, в схеме внешнего электроснабжения АДЦ применяется двухлучевая радиальная схема, которая показана на рисунке 1.



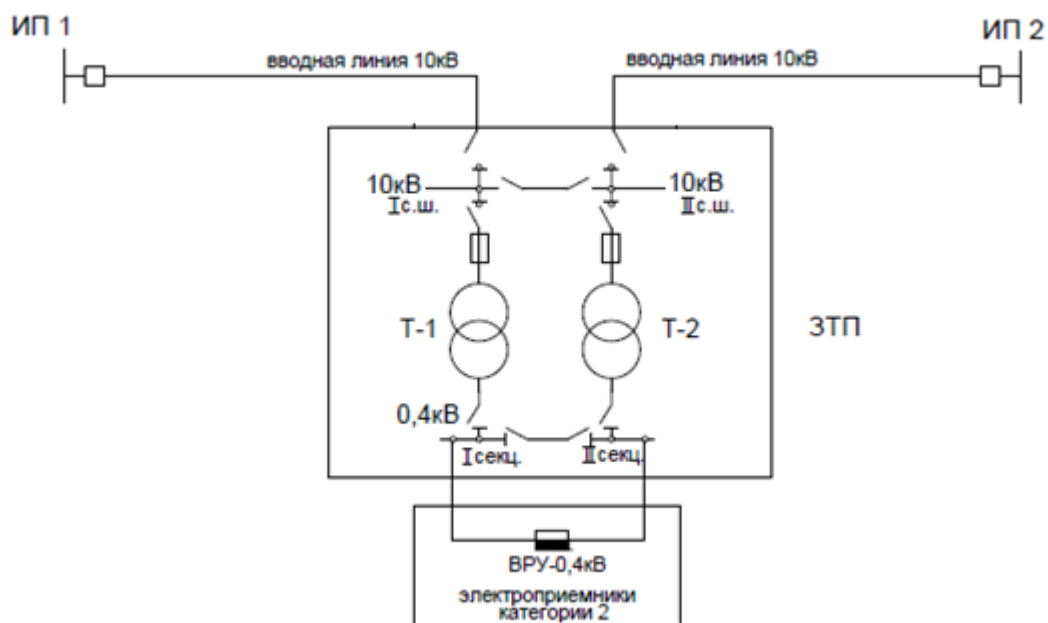


Рисунок 1 – Схема внешнего электроснабжения АДЦ (двухлучевая радиальная схема)

Последующее распределение электроэнергии на территории АДЦ осуществляется от вводного распределительного устройства напряжением 0,4 кВ (ВРУ-0,4 кВ), в схеме которого также применяется принцип «раздельного секционирования» и резервирования. ВРУ-0,4 кВ разделён на две секции сборных шин, между которыми установлен секционный автомат с устройством АВР. Таким образом, во внутренней СЭС АДЦ осуществляется необходимое резервирование, которое соответствует аналогичному резервированию на шинах РУ-0,4 кВ питающей ТП-10/0,4 кВ.

Далее во внутренней части СЭС АДЦ от шин ВРУ-0,4 кВ питают питание четыре щита вводных силовых (далее – ЩВС) и четыре щита освещения (далее – ЩО). От этих щитов питаются распределительные щиты (шестнадцать единиц – ЩР1-ЩР16). От последних непосредственно питаются потребители силовой и осветительной нагрузки на напряжении 0,38/0,22 кВ.

Так как АДЦ относится ко II категории надёжности, в схеме его системы электроснабжения должны соблюдаться условия резервирования, секционирования и надёжности, а также ремонтпригодности [8].

Поэтому на всех уровнях и подсистемах схемы применяются два независимых ввода при питании потребителей по радиальным схемам электроснабжения.

Известно, что такие схемы являются наиболее надёжными и подходят для питания электроприёмников II категории [10]. Данный принцип также используется в работе.

Принятые схемные решения для применения в СЭС АДЦ г. Обнинск, представлены в работе на рисунке 2.

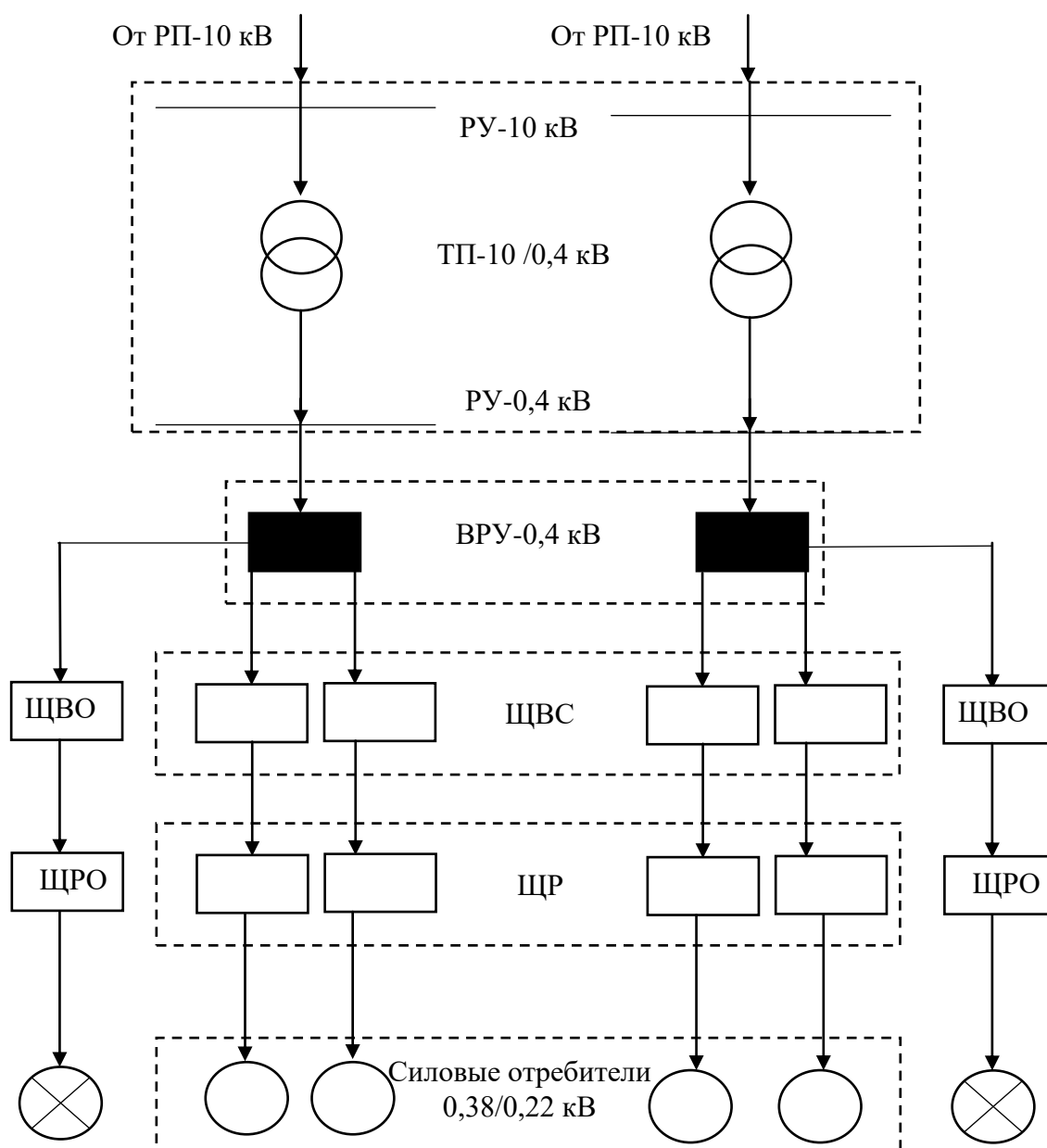


Рисунок 2 – «Принятые схемные решения» [9]

Принятые схемные решения в СЭС АДЦ г. Обнинск, также показаны на слайдах.

## **2.2 Расчет электрических нагрузок АДЦ**

Расчёт электрических нагрузок в системе электроснабжения административно-делового центра города Обнинск имеет важное значение для оптимизации энергопотребления и повышения эффективности работы всего комплекса.

Этот процесс включает в себя определение максимальных и минимальных нагрузок, которые могут возникнуть в различных частях системы электроснабжения, что позволяет адекватно спроектировать и подобрать необходимое оборудование и инфраструктуру для его надёжной и бесперебойной работы.

Задача расчёта также включает в себя проектирование системы таким образом, чтобы она была масштабируемой и адаптируемой к будущим изменениям в использовании здания.

Например, при расширении административно-делового центра или изменении его функционального назначения система электроснабжения должна быть способна адаптироваться к новым условиям без необходимости полной замены существующей инфраструктуры.

Кроме того, при расчёте необходимо учитывать требования нормативных документов по энергоэффективности и безопасности.

Данный аспект обеспечивает не только соблюдение законодательства, но и помогает снизить операционные расходы на электроэнергию, повысить экологичность комплекса, а также гарантировать безопасность пользователей и персонала зданий.

Таким образом, расчёт электрических нагрузок для административно-делового центра города Обнинск является многоаспектной задачей, которая требует интегрированного подхода к анализу, проектированию и

планированию системы электроснабжения, что позволит обеспечить его надежную и эффективную работу.

В работе расчёт электрических нагрузок АДЦ состоит из двух этапов:

- на первом этапе проводится расчёт электрической нагрузки освещения;
- второй этап подразумевает расчёт силовой нагрузки объекта.

«В работе принимается метод расчёта освещения по методу коэффициенту использования светового потока.

Расчёт освещения проводится на примере помещения лестничной клетки АДЦ.

Принимается для данного объекта АДЦ, с учётом того, что лестничная клетка является объектом эвакуационного аварийного освещения, светильники закрытого герметичного типа с дополнительным источником питания в виде встроенной АКБ.

Оптимальное расстояние между светильниками» [13]:

$$\lambda_c \cdot H_p \leq L \leq \lambda_э \cdot H_p, \quad (1)$$

где  $H_p$  – «расчётная высота подвеса светильника, м;

$\lambda_c, \lambda_э$  – выгоднейшие расстояния между светильниками, м» [13].

«Расчётная высота подвеса выбранного типа светильника» [13]:

$$H_p = H_o - h_{св} - h_{раб}, \quad (2)$$

где  $H_o$  – «высота помещения, м;

$h_{св}$  – высота свеса светильника, м;

$h_{раб}$  – высота освещаемой рабочей поверхности от пола, м» [13].

«Число светильников по длине помещения, шт.» [13]:

$$N_A = \frac{A - 2l_A}{L} + 1. \quad (3)$$

«Число светильников по ширине помещения, шт.» [13]:

$$N_B = \frac{B - 2l_B}{L} + 1. \quad (4)$$

«Общее число светильников, шт.» [13]:

$$N_{\Sigma} = N_A \cdot N_B. \quad (5)$$

«Действительное расстояние между светильниками и рядами» [13]:

$$L_A = \frac{A}{N_A - a}. \quad (6)$$

$$L_B = \frac{B}{N_B - a}. \quad (7)$$

«Расчёт размещения светильников по выражениям (1 – 7) на примере лестничной клетки АДЦ» [13]:

$$H_p = 4,6 - 0,6 - 1,5 = 2,5 \text{ м.}$$

$$0,5 \cdot 2,5 = 1,25 \leq L = 2.$$

$$N_A = \frac{4,5 - 2 \cdot 0,5}{2} + 1 \approx 3 \text{ шт.}$$

$$N_B = \frac{4 - 2 \cdot 0,5}{2} + 1 \approx 3 \text{ шт.}$$

$$N_{\Sigma} = 3 \cdot 3 = 9 \text{ шт.}$$

$$L_A = \frac{4,5}{3} = 1,5 \text{ м.}$$

$$L_B = \frac{4}{3} = 1,33 \text{ м.}$$

«Расчёт освещения проводится методом коэффициента использования светового потока» [13]:

$$\Phi = \frac{E_n \cdot S \cdot K_3 \cdot Z}{N \cdot \eta_u}, \quad (8)$$

где  $E_n$  - «заданная минимальная освещенность, лк;

$K_3$  - коэффициент запаса;

$S$  - освещаемая площадь,  $\text{м}^2$ ;

$Z$  - коэффициент неравномерности освещения;

$N$  - общее количество светильников, шт.;

$\eta_u$  - коэффициент использования светового потока, о.е.» [13].

«Индекс помещения» [13]:

$$i = \frac{A \cdot B}{H_p (A + B)}, \quad (9)$$

$$i = \frac{4,5 \cdot 4}{2,5 \cdot (4,5 + 4)} = 0,85.$$

«Отклонение светового потока» [13]:

$$\Delta \Phi = \frac{\Phi_{uc} - \Phi}{\Phi} \cdot 100\%. \quad (10)$$

«Световой поток лампы светильника» [13]:

$$\Phi = \frac{300 \cdot 18 \cdot 1,15 \cdot 1,1}{9 \cdot 0,75} = 1012 \text{ лм.}$$

«Принимается два светильника марки ARCTIC 236 с АКБ IP65.

Отклонение расчетного светового потока» [13]:

$$\Delta\Phi = \frac{1150 - 1012}{1012} \cdot 100 = 13,6\%$$

«Расчёт освещения остальных помещений АДЦ выполнен аналогично» [13].

Результаты приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты светотехнического расчёта помещений АДЦ

Наименование помещений	Площадь помещений, м <sup>2</sup>	Марка светильника	Количество и мощность ламп
Лестничная клетка	17,77	ARCTIC 236 с АКБ IP65	4×36=144 Вт
Зона отдыха	23,84	ARCTIC 236	2×36=72 Вт
Учебный класс	9,68	CD 218 IP65	2×72=144 Вт
Сан. узел	3,08	CD 218 IP65	2×72=144 Вт
Коридор	64,77	OPL_S418_IP20	6×72=432 Вт
Зона отдыха	24,60	ARCTIC 236	2×36=72 Вт
Сан. узел	3,0	CD 218 IP65	2×72=144 Вт
Учебный класс	9,6	CD 218 IP65	2×72=144 Вт
Конференц-зал	106,92	OPL/S263	9×36=324 Вт
Административно-деловые помещения	976,23	CD 218 IP65	30×72=2160 Вт
Техническое помещение	25,53	ARCTIC 236	4×36=144 Вт
Техническое помещение	24,81	ARCTIC 236	4×36=144 Вт
Тамбур	18,56	ARCTIC 236 с АКБ IP65	4×36=144 Вт
Буфет	65,83	OPL/S 418 IP20	18×72=1296 Вт
Гардеробная	65,83		
Вестибюль	261,0		
Лестничная клетка	16,91	ARCTIC 236 с АКБ IP65	4×36=144 Вт
Помещение охраны	8,09	ARCTIC 236 с АКБ IP65	2×36=72 Вт
Лестничная клетка	16,80	ARCTIC 236 с АКБ IP65	4×36=144 Вт
Административно-деловые помещения	206,83	HBA 250H IP65	7×250=1750 Вт
Инвентарная	17,39	ARCTIC 236	2×36=72 Вт
Административно-деловые помещения	200,82	HBA 250H IP65	7×250=1750 Вт
Инвентарная	17,39	ARCTIC 236	2×36=72 Вт
Спортивный зал и фитнес-центр	200,92	HBA 250H IP65	7×250=1750 Вт
Инвентарная	17,39	ARCTIC 236	2×36=72 Вт

Продолжение таблицы 2

Наименование помещений	Площадь помещений, м <sup>2</sup>	Марка светильника	Количество и мощность ламп
Зона отдыха	24,72	ARCTIC 236	2×36=72 Вт
Учебный класс	11,14	CD 218 IP65	2×72=144 Вт
Сан. узел	3,48	CD 218 IP65	2×72=144 Вт
Учебный класс	11,22	CD 218 IP65	4×72=288 Вт
Сан. узел	3,52	CD 218 IP65	2×72=144 Вт
Зона отдыха	23,34	ARCTIC 236	2×36=72 Вт
Электрощитовая	14,62	ARCTIC 236	1×36=36 Вт
Лестничная клетка	17,42	ARCTIC 236 с АКБ IP65	4×36=144 Вт
Учебный класс	6,40	CD 218 IP65	2×72=144 Вт
Техническое помещение	27,32	ARCTIC 236	2×36=72 Вт
Сан. узел	4,10	CD 218 IP65	2×72=144 Вт
Сан. узел	3,52	CD 218 IP65	2×72=144 Вт
Зона отдыха	5,20	ARCTIC 236	1×36=36 Вт
Учебный класс	3,58	CD 218 IP65	1×36=36 Вт
Приёмная директора АДЦ	18,04	PRS/S 418	2×72=144 Вт
Кабинет врача	16,11	PRS/S 418	2×72=144 Вт
Сан. узел для МГН	3,26	CD 218 IP65	2×72=144 Вт
Сан. узел	6,08	CD 218 IP65	3×72=216 Вт
Сан. узел	6,02	CD 218 IP65	3×72=216 Вт
Тепловой пункт	16,79	ARCTIC 236	2×36=72 Вт
Кладовая и уборная инвентаря	11,68	ARCTIC 236	1×36=36 Вт
Коридор	191,42	OPL_S418_IP20	11×72=792 Вт
Наружное освещение	283,2	HBA 250H EL (с АКБ) IP65 (Position 2)	9×250=2250 Вт
Всего	2832,63	-	17068 Вт ≈ 17,1 кВт

«Аварийное освещение принимается 10% от рабочего освещения. Лампы аварийного освещения выделяются из состава рабочего освещения АДЦ» [13].

Далее проводится расчёт силовой нагрузки АДЦ.

Расчёт силовых нагрузок административно-делового центра методом коэффициента спроса представляет собой критически важный процесс, направленный на определение реальных потребностей здания в электрической энергии.



Этот метод позволяет учесть различия в потреблении энергии в разные временные периоды, что способствует более точному и экономически эффективному проектированию системы электроснабжения.

Основная цель использования метода коэффициента спроса заключается в минимизации затрат на электроэнергию при обеспечении достаточной мощности для удовлетворения пиковых и средних нагрузок без риска перегрузок.

Это достигается за счёт анализа исторических данных о потреблении энергии и прогнозирования будущих потребностей с учётом изменений в использовании помещений и технологических обновлений.

Задача расчёта включает в себя определение коэффициента максимального спроса, который показывает отношение максимальной мгновенной нагрузки к средней нагрузке за определённый расчётный период (интервал времени).

Данный коэффициент помогает в определении необходимой мощности оборудования и инфраструктуры, что особенно важно для предотвращения избыточного инвестирования в электрооборудование, которое может не использоваться на полную мощность.

Также метод коэффициента спроса позволяет разработать меры по управлению пиковыми нагрузками, такие как внедрение автоматизированных систем управления энергопотреблением, что может включать временное отключение некритичных нагрузок или использование генераторов в периоды пикового спроса.

Приведённые меры не только повышают эффективность системы электроснабжения, но и способствуют снижению операционных расходов.

Таким образом, расчёт силовых нагрузок административно-делового центра методом коэффициента спроса является фундаментальным инструментом для оптимизации энергетической инфраструктуры, обеспечивая необходимую надёжность и экономичность в эксплуатации данного объекта в целом.

«Активная расчётная нагрузка АДЦ» [11]:

$$P_{np} = K_c \cdot P_m, \text{ кВт}, \quad (11)$$

где  $P_m$  – «максимальная активная нагрузка АДЦ, кВт;

$K_c$  – коэффициент спроса» [11].

«Реактивная расчётная нагрузка АДЦ» [11]:

$$Q_{np} = P_{np} \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (12)$$

где « $\operatorname{tg} \varphi$  – коэффициент реактивной мощности» [11].

«Полная расчётная нагрузка АДЦ» [11]:

$$S_{np} = \sqrt{P_{np}^2 + Q_{np}^2}. \quad (13)$$

«Расчётный ток АДЦ» [11]:

$$I_{np} = \frac{S_{np}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном.}}. \quad (14)$$

где « $U_{ном.}$  – номинальное напряжение, кВ» [11].

На примере ЩР 1 проектируемой СЭС АДЦ:

$$P_p = 8,5 \cdot 0,65 = 5,53 \text{ кВт},$$

$$Q_p = 5,53 \cdot 0,33 = 1,82 \text{ квар},$$

$$S_p = \sqrt{5,53^2 + 1,82^2} = 5,82 \text{ кВА},$$

$$I_p = \frac{5,82}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 8,84 \text{ А.}$$

Результаты расчёта нагрузок АДЦ г. Обнинск Калужской области приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты расчёта суммарных электрических нагрузок АДЦ (сводная таблица)

ЩВС (ЩО)	ЩР (ЩРО)	$P_{ном}$ , кВт	$k_c$	$P_p$ , кВт	$Q_p$ , квар	$S_p$ , кВА	$I_p$ , А
ЩВС-1	ЩР1	8,50	0,65	5,53	1,82	5,82	8,84
	ЩР2	8,20	0,20	1,64	0,54	1,73	2,66
	ЩР3	46,86	0,73	33,97	11,21	35,77	55,03
	ЩР4	9,10	0,45	4,10	1,35	4,32	6,64
Всего по ЩВС-1		72,66	-	45,24	14,92	47,64	73,17
ЩВС-2	ЩР5	109,60	0,55	60,28	19,89	63,48	97,66
	ЩР6	10,50	0,73	7,61	2,51	8,01	12,33
	ЩР7	0,35	1,00	0,35	0,11	0,37	0,57
	ЩР8	7,00	0,60	4,20	1,39	4,42	6,80
Всего по ЩВС-2		127,45	-	72,44	23,9	76,28	117,36
ЩВС-3	ЩР9	220,50	0,70	154,35	50,94	162,54	250,1
	ЩР10	0,14	1,00	0,14	0,05	0,15	0,23
	ЩР11	10,85	0,50	5,43	1,79	5,72	8,80
	ЩР12	32,00	1,00	32,00	10,56	33,70	51,84
Всего по ЩВС-3		263,49	3,2	191,92	63,34	202,11	310,97
ЩВС-4	ЩР13	195,71	0,50	97,86	32,29	103,05	158,5
	ЩР14	251,70	0,45	113,27	37,34	119,28	183,5
	ЩР15	54,00	0,90	48,60	16,04	51,18	78,74
	ЩР16	300,00	0,50	150,00	49,50	157,96	243,0
Всего по ЩВС-4		801,41	-	409,73	135,17	431,47	663,74
Освещение рабочее							
ЩРО	ЩО1	14,85	1,00	14,85	4,90	15,64	24,06
	ЩО2	2,25	1,00	2,25	0,74	2,37	3,65
Всего рабочего освещения		17,10	-	17,10	5,64	18,01	27,70
Освещение аварийное							
ЩАО	ЩО3	1,49	1,00	1,49	0,49	1,57	2,41
	ЩО4	0,30	1,00	0,3	0,1	0,32	0,49
Всего аварийного освещения		1,79	-	1,79	0,59	1,89	2,91
Расчёт нагрузок секций сборных шин ВРУ-0,4 кВ (с учётом освещения)							
Итого секция I ВРУ-0,4 кВ		510,54	-	335,73	110,79	353,56	543,81
Итого секция II ВРУ-0,4 кВ		806,61	-	414,93	136,9	436,95	672,2
Итого по ВРУ-0,4 кВ		1317,15	-	750,66	247,7	790,51	1216,0

Полученные результаты расчёта суммарных электрических нагрузок АДЦ используются в работе далее.

## 2.3 Выбор силовых трансформаторов питающей подстанции АДЦ

«Выбор силовых трансформаторов для питающей подстанции 10/0,4 кВ системы электроснабжения АДЦ представляет собой» [9] важный аспект, направленный на обеспечение стабильности, эффективности и безопасности энергоснабжения.

Этот процесс является актуальным в свете растущих требований к надежности энергетических систем, увеличения потребности в электроэнергии и необходимости соблюдения экологических стандартов.

Основная цель такого выбора заключается в определении таких силовых трансформаторов, которые могут эффективно и безопасно преобразовывать и передавать электрическую энергию, соответствуя при этом текущим и перспективным нагрузкам.

Такой процесс требует учета множества технических параметров, включая мощность, тип охлаждения, уровень напряжения и прочие характеристики, которые должны соответствовать как техническим требованиям, так и экономическим соображениям АДЦ.

Задачи, связанные с выбором трансформаторов, включают анализ потенциальной нагрузки и определение оптимальной конфигурации оборудования для минимизации потерь энергии и повышения общей энергоэффективности подстанции.

Рассматривается также способность оборудования к быстрой адаптации при изменениях в нагрузке и возможности модернизации в будущем.

Важным аспектом является обеспечение совместимости оборудования с трансформаторами подстанции.

Таким образом, процесс выбора силовых трансформаторов для проектируемой СЭС АДЦ представляет собой многогранный анализ, направленный на оптимизацию работы энергетической системы данного

учреждения в соответствии с высокими стандартами надежности, безопасности и экологической устойчивости.

«Номинальная мощность силового трансформатора» [13]:

$$S_{\text{ном.т}} \geq S_{\text{ном.т.р}} = \frac{P_p}{N \cdot \beta_T}, \text{ кВА}, \quad (15)$$

где  $S_{\text{ном.т}}$  – «номинальная (паспортная) мощность силового трансформатора подстанции переменного напряжения нового АДЦ;  
 $S_{\text{ном.т.р}}$  – расчетная мощность трансформатора, установленного на подстанции переменного напряжения нового АДЦ;  
 $P_p$  – суммарная активная нагрузка потребителей, которые получают питание от подстанции переменного напряжения нового АДЦ» [10].

«В числовом виде после подстановки параметров» [10]:

$$S_{\text{ном.т}} \geq S_{\text{ном.т.р}} = \frac{750,66}{2 \cdot 0,8} = 469,16 \text{ кВА}.$$

«Исходя из результатов расчёта, для установки на ТП-10/0,4 кВ нового АДЦ, предлагается в работе выбрать два силовых трансформатора марки ТМ-630/10. Данный тип трансформатора при применении в электроустановках зарекомендовал себя как надёжный, экономичный и ремонтнопригодный» [12].

«Проверка выбранного типа силового трансформатора в нормальном режиме работы» [12]:

$$K_3^H = \frac{0,5 \cdot S_p}{S_{\text{ном.т}}} \leq 0,8. \quad (16)$$

$$K_3^H = \frac{790,51}{630 \cdot 2} = 0,63 \leq 0,8.$$

Условие проверки выполнены.

«Проверка силового трансформатора в максимальном режиме» [12]:

$$K_3^{n.ав} = \frac{S_p}{S_{ном.т}} \leq 1,6. \quad (17)$$
$$K_3^{n.ав} = \frac{585,6}{630 \cdot (2-1)} = 0,93 \leq 1,6.$$

Условие проверки выполнены.

## 2.4 Выбор проводников

Выбор проводников в системе электроснабжения административно-делового центра представляет собой ключевой аспект проектирования, который напрямую влияет на надёжность, эффективность и безопасность электросети.

Актуальность этого процесса обусловлена стремлением к обеспечению стабильного и безаварийного функционирования всех электрических систем здания, включая освещение, отопление, вентиляцию и другие жизненно важные элементы инфраструктуры.

Целью выбора проводников является обеспечение достаточной пропускной способности для передачи электроэнергии при минимальных потерях и соблюдении всех норм и стандартов электробезопасности. Данный аспект включает подбор марок и сечений проводников, которые должны соответствовать требуемым параметрам проводимости, термической стойкости и долговечности, учитывая условия эксплуатации в административно-деловом центре.

Основные задачи процесса выбора проводников включают оценку текущих и будущих нагрузок на СЭС АДЦ, определение оптимального сечения и типа проводников для каждой части сети. Это требует тщательного

анализа всех потенциальных режимов работы системы, включая пиковые и минимальные нагрузки, а также возможные изменения в использовании здания, которые могут повлиять на электрические нагрузки.

Таким образом, процесс выбора проводников является задачей, решение которой требует комплексного подхода к анализу и планированию СЭС. Однако при правильном подходе, результат обеспечивает эффективную, безопасную и экономичную эксплуатацию системы электроснабжения, способствуя улучшению общих условий работы и пребывания в административно-деловом центре.

«Выбору подлежат следующие проводники системы электроснабжения нового АДЦ, выполненные кабельными линиями электропередачи:

- напряжением 10 кВ: питающая кабельная линия, состоящая из двух силовых кабелей, для питания ТП-10/0,4 кВ от энергосистемы по радиальной схеме;
- напряжением 0,38/0,22 кВ: питающая сеть для обеспечения электроснабжения ВРУ объекта от РУ-0,4 кВ ТП-10/0,4 кВ, ЩВС от ВРУ, а также ЩР и ЩО от ЩВС» [7].

«Расчётный рабочий ток линии» [7]:

$$I_{p.} = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{ном.}} \quad (18)$$

«Максимальный расчётный ток линии» [7]:

$$I_{p.max} = 1,4 I_{p.} \quad (19)$$

«Проверка кабельной линии по условию нагрева максимальным рабочим током» [7]:

$$I_{\text{доп}} \geq I_{p.\text{max}} \cdot \quad (20)$$

где « $I_{\text{доп}}$  – длительно – допустимый ток, А;

$I_{p.\text{max}}$  – максимальный ток, А» [9].

«Выбор сечения кабельных линий 10 кВ по экономической плотности тока» [9]:

$$F_{\text{э}} = \frac{I_{p.}}{j_{\text{э}}} \cdot \quad (21)$$

«Расчётный ток питающей кабельной линии 10 кВ» [9]:

$$I_{p.} = \frac{630}{\sqrt{3} \cdot 10} = 36,4 \text{ А.}$$

«Расчётное сечение питающей кабельной линии 10 кВ АДЦ» [9]:

$$F_{\text{э}} = \frac{36,4}{1,6} = 22,7 \text{ мм}^2.$$

«Принимается к установке силовой трёхжильный кабель с изоляцией со сшитого полиэтилена марки СПЭ-10 (3×25) с предельным допустимым током нагрева при прокладке в земле  $I_{\text{доп}}=115$  А» [14].

Кабели СПЭ-10 с изоляцией из сшитого полиэтилена предназначены для применения в сетях напряжением до 10 кВ. Особенность этих кабелей заключается в использовании сшитого полиэтилена для изоляции, что обеспечивает им ряд значительных преимуществ.

Изоляция из сшитого полиэтилена выделяет кабели СПЭ-10 благодаря её высокой прочности и стойкости к химическим воздействиям. Это делает их идеальными для использования в условиях, где кабель может



подвергаться механическим нагрузкам или агрессивным веществам. К тому же, такая изоляция эффективно сопротивляется старению и ультрафиолетовому излучению, что значительно продлевает срок службы кабеля.

Электрическая прочность сшитого полиэтилена также способствует повышению надёжности кабелей СПЭ-10. Этот материал обладает отличной изоляционной способностью, что предотвращает пробой и утечки тока, обеспечивая безопасность использования кабеля в энергетических системах.

Важным преимуществом является также температурная стойкость сшитого полиэтилена, позволяющая эксплуатировать кабели в широком диапазоне температур. Это делает их подходящими для различных климатических условий, устойчивыми к перепадам температур, что особенно ценно в регионах с экстремальными погодными условиями.

Также кабели СПЭ-10 являются экологически безопасными, так как сшитый полиэтилен не выделяет токсичных веществ при горении. Это снижает потенциальный вред для окружающей среды и человека, что делает использование этих кабелей предпочтительным в рамках стремления к экологической устойчивости.

Таким образом, кабели СПЭ-10 с изоляцией из сшитого полиэтилена представляют собой оптимальное решение для современных электросетей, где требуются высокая надёжность, долговечность и экологическая безопасность.

В частности, данный кабель используется для сети 10 В АДЦ.

«Максимальный расчётный ток кабельной линии 10 кВ АДЦ» [4]:

$$I_{p,\max} = 1,4 \cdot 36,4 \approx 51 \text{ A.}$$

«Условия проверки КЛ-10 кВ АДЦ по условию допустимого нагрева в послеаварийном режиме, выполняется» [4]:

«Исходя из полученных результатов, для питающей кабельной линии 10 кВ ТП-10/0,4 кВ АДЦ, полученной в результате проведения модернизации данной линии в схеме электрических соединений РУ-10 кВ, окончательно выбирается силовой кабель марки СПЭ-10 (3×25)» [14].

«Для электроснабжения питающей сети 0,38/0,22 кВ АДЦ (ВРУ, ЩР и ЩО) в работе приняты низковольтные пятижильные кабели ВВГнг-LS» [2].

Кабели ВВГнг-LS представляют собой силовые кабели с изоляцией из поливинилхлорида, не распространяющие горение и обладающие пониженным дымо- и газовыделением. Эти характеристики делают их весьма подходящими для использования в условиях, где повышенные требования к пожарной безопасности являются приоритетными, например, в общественных и административных зданиях, больницах, школах и подземных сооружениях, а также в проектируемой СЭС АДЦ.

Особенность изоляционного материала кабелей ВВГнг-LS заключается в его способности минимизировать выделение дыма и коррозионных газов при воздействии огня, что существенно повышает безопасность людей и оборудования в экстренных ситуациях. Помимо этого, такая изоляция обладает хорошими диэлектрическими свойствами, что способствует сохранению целостности кабеля даже в случае механического воздействия.

Кабели ВВГнг-LS также характеризуются устойчивостью к воздействию ультрафиолетовых лучей, что позволяет использовать их в условиях открытого пространства без значительного ухудшения характеристик. Это значительно расширяет сферу их применения и увеличивает срок службы.

Данные кабели разработаны для работы в широком диапазоне температур, что обеспечивает их надежную эксплуатацию в различных климатических условиях. Таким образом, кабели ВВГнг-LS предоставляют ряд преимуществ, таких как пожарная безопасность, долговечность и

универсальность использования, что делает их предпочтительным выбором для объектов с повышенными требованиями к безопасности и надежности электроснабжения. Поэтому выбор кабелей марки ВВГнг-LS для применения в системе электроснабжения АДЦ полностью обоснован [3].

«Выбор сечений кабелей питающей и распределительной сети 0,38/0,22 кВ осуществляется по условию допустимого нагрева кабеля током максимального режима» [18]:

$$I_{доп.} \geq I_{н.} = I_{р.} \cdot K_n, \quad (22)$$

где « $I_{доп.}$  – допустимый ток кабеля с учётом его прокладки, А» [9];

$I_{р.}$  – расчетный ток максимального режима, А;

$K_n$  – коэффициент поправки кабелей ( $K_n=1$ ).

Для кабелей питающей сети АДЦ применяется резервирование, следовательно, необходимо их проверить по условию допустимого нагрева кабеля током послеаварийного режима, который определяется так [18]:

$$I_{доп.} \geq I_{р.} = 1,4 \cdot I_{н.}. \quad (23)$$

Расчётные токи максимального режима определены в работе ранее. Проводится выбор сечения и марки кабеля питающей сети от РУ-0,4 кВ ТП-10/0,4 кВ г. Обнинска до ВРУ-0,4 кВ (ввод 1).

Установлено, что данная сеть выполняется пятижильными кабелями ВВГнг-LS (прокладка – в трубах в земле). Расчётный ток ВРУ-0,4 кВ (ввод 1) составляет 190,53 А.

Для питания ВРУ-0,4 кВ (ввод 1) от шин РУ-0,4 кВ ТП-10/0,4 кВ г. Обнинска, принимается кабель марки ВВГнг-LS (5×50) с допустимым током 205 А при прокладке в земле.

Проверка кабеля в максимальном режиме:

$$205 A \geq 190,53 \cdot 1 = 190,53 A.$$

Таким образом, окончательно выбираются для питания ВРУ-0,4 кВ АДЦ (ввод 1) от шин РУ-0,4 кВ ТП-10/0,4 кВ г. Обнинска, кабель марки ВВГнг-LS (5×50) с допустимым током 205 А при прокладке в земле [3]. Результаты выбора кабелей питающей сети 0,4 кВ представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Результаты выбора кабелей питающей сети 0,4 кВ АДЦ

Потребитель	$I_p, A$	Марка кабеля	$I_{доп}, A$
Питающая сеть 0,38/0,22 кВ (фидер 1)			
ЩВС-1	73,17	ВВГнг-LS (5×16)	112,0
ЩВС-2	117,36	ВВГнг-LS (5×25)	135,0
ВРУ-0,4 кВ (ввод 1)	190,53	ВВГнг-LS (5×50)	205,0
Питающая сеть 0,38/0,22 кВ (фидер 2)			
ЩВС-3	310,97	ВВГнг-LS (5×120)	362,0
ЩВС-4	663,74	2ВВГнг-LS (5×120)	724,0
ВРУ-0,4 кВ (ввод 2)	974,71	2ВВГнг-LS (5×240)	996,0
Распределительная сеть 0,38/0,22 кВ			
ЩР1	8,84	ВВГнг-LS (5×2,5)	40,0
ЩР2	2,66	ВВГнг-LS (5×2,5)	40,0
ЩР3	55,03	ВВГнг-LS (5×6)	64,0
ЩР4	6,64	ВВГнг-LS (5×2,5)	40,0
ЩР5	97,66	ВВГнг-LS (5×16)	112,0
ЩР6	12,33	ВВГнг-LS (5×2,5)	40,0
ЩР7	0,57	ВВГнг-LS (5×2,5)	40,0
ЩР8	6,80	ВВГнг-LS (5×2,5)	40,0
ЩР9	250,06	ВВГнг-LS (5×70)	253,0
ЩР10	0,23	ВВГнг-LS (5×2,5)	40,0
ЩР11	8,80	ВВГнг-LS (5×2,5)	40,0
ЩР12	51,84	ВВГнг-LS (5×6)	64,0
ЩО1	36,52	ВВГнг-LS (5×2,5)	40,0
ЩО2	5,83	ВВГнг-LS (5×2,5)	40,0
ЩР13	158,54	ВВГнг-LS (5×35)	173,0
ЩР14	183,50	ВВГнг-LS (5×50)	205,0
ЩР15	78,74	ВВГнг-LS (5×10)	86,0
ЩР16	243,01	ВВГнг-LS (5×70)	253,0
ЩО1	24,06	ВВГнг-LS (5×2,5)	40,0
ЩО2	3,65	ВВГнг-LS (5×2,5)	40,0
ЩО3	2,41	ВВГнг-LS (5×2,5)	40,0
ЩО4	0,49	ВВГнг-LS (5×2,5)	40,0

Сечения кабельных линий сети 10 кВ и 0,38/0,22 кВ удовлетворяют условиям выбора и проверок. Все кабели показаны на слайдах.

## 2.5 Расчёт токов КЗ

Расчёт токов короткого замыкания в системе электроснабжения административно-делового центра имеет важное значение для обеспечения электрической безопасности, надежности энергоснабжения и защиты оборудования.

Актуальность данного расчёта обусловлена потребностью в предотвращении возможных аварийных ситуаций, которые могут привести к серьезным последствиям, включая выход из строя важных энергетических систем, возгорания и даже человеческие жертвы.

Основная цель расчёта токов короткого замыкания заключается в определении максимально возможных токов, которые могут произойти при нарушениях в электрической сети. Эти данные необходимы для правильного подбора защитного оборудования, такого как автоматические выключатели и предохранители, которые должны надежно срабатывать в случае коротких замыканий, предотвращая повреждения и минимизируя время простоя.

Кроме того, для проверки условий чувствительности релейной защиты и аппаратуры, также требуется рассчитать минимальные токи КЗ.

Задачи, связанные с этим расчётом, включают в себя анализ конфигурации электросети, определение наиболее уязвимых точек, а также моделирование различных сценариев коротких замыканий.

Таким образом, расчёт токов короткого замыкания является важнейшим инструментом для проектирования, эксплуатации и обслуживания электроснабжения административно-делового центра. Он помогает обеспечить высокий уровень безопасности, предотвратить возможные аварии и повысить эффективность энергоснабжения.

В работе ток короткого замыкания рассчитывается в точках, где он будет наибольшим и наименьшим. То есть, расчёту подлежат токи трёхфазного максимального несимметричного КЗ и двухфазного КЗ на землю.

Расчёт проводится в классах «напряжения 10 кВ и 0,4 кВ системы электроснабжения АДЦ. Схема замещения для расчёта токов КЗ в сети напряжением 10 кВ и 0,38/0,22 кВ» [19] представлена на рисунке 3.

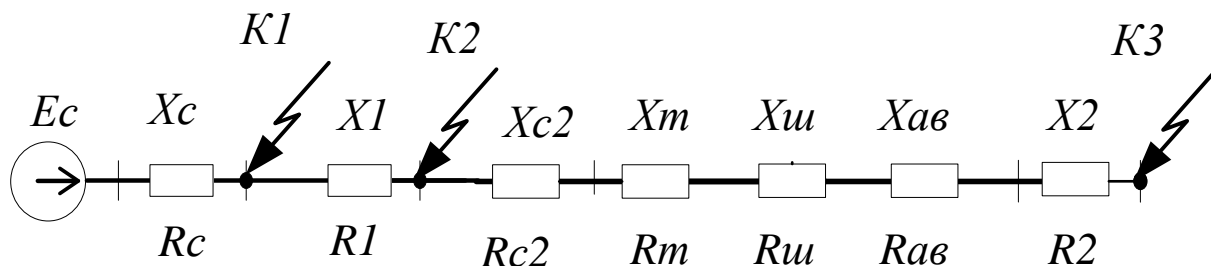


Рисунок 3 – Схема замещения участка сети 10 кВ и 0,38/0,22 кВ

Ток трёхфазного КЗ на шинах РУ 10 кВ энергосистемы принимается равным  $I_{кз} = 12,5$  кА (по данным энергосистемы).

Сопротивление энергосистемы [19]:

$$x_c = \frac{U_c}{\sqrt{3} \cdot I_{кз}}, \text{ Ом}, \quad (24)$$

$$x_c = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 12,5} = 0,485 \text{ Ом}$$

Удельные сопротивления питающей кабельной линии:

$$x = 0,312 \text{ Ом/км}, \quad r = 0,923 \text{ Ом/км}.$$

«Активное и индуктивное сопротивление линий» [19]:

$$X_C = L_C \cdot X_{y\partial.C}, \text{ Ом}, \quad (25)$$

$$X_C = 1,0 \cdot 0,922 = 0,922 \text{ Ом},$$

$$X_1 = L_1 \cdot X_{y\partial.1}, \text{ Ом}, \quad (26)$$

$$X_1 = 0,9 \cdot 0,312 = 0,281 \text{ Ом},$$

$$R_C = L_C \cdot R_{y\partial.C}, \text{ Ом}, \quad (27)$$

$$R_C = 1,3 \cdot 1 = 1,3 \text{ Ом},$$

$$R_1 = L_1 \cdot R_{y\partial.1}, \text{ Ом}, \quad (28)$$

$$R_1 = 1 \cdot 0,831 = 0,831 \text{ Ом}.$$

«Сопротивления до точки К1» [19]:

$$X_{\Sigma K1} = X_c, \text{ Ом}, \quad (29)$$

$$X_{\Sigma K1} = 0,922 \text{ Ом},$$

$$R_{\Sigma K1} = R_C = 1,3 \text{ Ом}.$$

$$X_{\Sigma K2} = X_C + X_1, \text{ Ом}, \quad (30)$$

$$X_{K2} = 0,922 + 0,281 = 1,203 \text{ Ом},$$

$$R_{\Sigma K2} = R_C + R_1, \text{ Ом}; \quad (31)$$

$$R_{\Sigma K2} = 1,3 + 0,831 = 2,131 \text{ Ом}.$$

«Ток трёхфазного КЗ» [19]:

$$I_{\text{ПО.К1}}^{(3)} = \frac{U_{\text{СРНН}}}{\sqrt{3} \cdot X_C}, \text{ кА}, \quad (32)$$

$$I_{\text{ПО.К1}}^{(3)} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 0,922} = 12,5 \text{ кА},$$

$$I_{\text{ПО.К2}}^{(3)} = \frac{U_{\text{СРНН}}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_{\Sigma \text{ТП}}^2 + X_{\Sigma \text{ТП}}^2}}, \text{ кА}, \quad (33)$$

$$I_{\text{ПО.К2}}^{(3)} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{2,131^2 + 1,203^2}} = 3,79 \text{ кА}.$$

«Постоянная затухания аperiodической составляющей» [19]:

$$T_{aK1} = 0,03 \text{ с},$$

$$T_{aK2} = \frac{X_{\Sigma III77}}{\sqrt{3} \cdot R_{\Sigma III77}}, \text{ с}, \quad (34)$$

$$T_{aK2} = \frac{0,922}{314 \cdot 1,3} = 0,0022 \text{ с},$$

«Коэффициент затухания» [19]:

$$\lambda_{K1} = e^{\frac{-0,01}{T_{aK1}}}, \quad (35)$$

$$\lambda_{K1} = e^{\frac{-0,01}{0,03}} = 0,716,$$

$$\lambda_{K2} = e^{\frac{-0,01}{T_{aK2}}}, \quad (36)$$

$$\lambda_{K2} = e^{\frac{-0,01}{0,0022}} = 0,0106,$$

«Ударный ток короткого замыкания, кА» [19]:

$$i_{y\partial K1} = \sqrt{2} \cdot I_{\text{ПО.}K1}^{(3)} \cdot (1 + \lambda_{K1}), \text{ кА}, \quad (37)$$

$$i_{y\partial K1} = \sqrt{2} \cdot 12,5 \cdot 1,716 = 30,33 \text{ кА},$$

$$i_{y\partial K2} = \sqrt{2} \cdot I_{\text{ПО.}K2}^{(3)} \cdot (1 + \lambda_{K2}), \text{ кА}, \quad (38)$$

$$i_{y\partial K2} = \sqrt{2} \cdot 3,79 \cdot 1,0106 = 5,416 \text{ кА},$$

«Значение тока двухфазного КЗ (минимальный расчётный ток КЗ)» [19]:

$$I_{\kappa}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_{\kappa}^{(3)}, \text{ А}. \quad (39)$$



«Для расчётных точек К1 и К2» [19]:

$$I_{к1}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 12,5 = 10,82 \text{ кА},$$

$$I_{к2}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 3,79 = 3,282 \text{ кА}.$$

«Результаты расчета токов КЗ на стороне 10 кВ сети АДЦ» [19] представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Результаты расчета токов КЗ на стороне 10 кВ сети АДЦ

Точка КЗ	$I_{к}^{(3)}$ , кА	$I_{к}^{(2)}$ , кА	$T_a$	$k_{уд}$	$i_{уд}$ , кА
К1	12,5	10,82	0,03	1,716	30,33
К2	3,79	3,28	0,0022	1,0106	5,416

Таким образом, в работе рассчитаны токи короткого замыкания в сети 10 кВ АДЦ.

Полученные результаты используются в работе далее.

Далее проводится расчёт «тока трёхфазного КЗ на шинах 0,4 кВ и ток однофазного КЗ на самом дальнем РЩ, питающегося от ТП-10/0,4 кВ» [19].

«Сопротивление системы, приведенное к стороне 0,4 кВ» [19]:

$$X_{c2} = \frac{U_{ср.нн}^2}{\sqrt{3} \cdot I_{кз} \cdot U_{ср.вн}^2}, \text{ Ом}, \quad (40)$$

где « $I_{кз}$  – ток КЗ на шинах 10 кВ ТП-10/0,4 кВ, кА» [19].

$$X_{c2} = \frac{400^2}{\sqrt{3} \cdot 2,73 \cdot 10500} = 3,223 \text{ Ом}.$$

«Сопротивления силового трансформатора на питающей ТП-10/0,4 кВ (ТМ-630/10)» [19]:

$$R_T = \frac{U_{ном}^2 \cdot \Delta P_{кз}}{S_{ном.т}^2}, \text{ Ом}, \quad (41)$$

$$R_T = \frac{0,4^2 \cdot 5,5}{630^2} \approx 2,22 \text{ Ом},$$

$$Z_T = \frac{U_{ном}^2 \cdot U_{к}}{S_{ном.т}}, \text{ Ом}, \quad (42)$$

$$Z_T = \frac{0,4^2 \cdot 0,045}{630} \approx 14 \text{ Ом},$$

$$X_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2}, \text{ Ом}, \quad (43)$$

$$X_T = \sqrt{14^2 - 2,22^2} = 13,82 \text{ Ом}.$$

«Переходное активное сопротивление системы на стороне 0,4 кВ принимается равным 15 мОм.

Активное сопротивление автоматического выключателя с учётом сопротивления контактов  $R_{ав}=0,41$  мОм, реактивное сопротивление  $X_{ав}=0,13$  мОм.

Для шин принимаются сопротивления:  $X_{ШТП} = 0,06$  мОм,  $R_{ШТП} = 0,06$  мОм.

Суммарные сопротивления до точки КЗ» [19]:

$$X_{1сумм} = X_C + X_T + X_{ШТП} + X_{ав}, \text{ мОм}, \quad (44)$$

$$X_{1сумм} = 3,223 + 13,82 + 0,06 + 0,13 = 17,233 \text{ мОм},$$

$$R_{1сумм} = R_T + R_{ШТП} + R_{ав}, \text{ мОм}, \quad (45)$$

$$R_{1сумм} = 2,22 + 0,1 + 15 + 0,41 = 17,73 \text{ мОм}.$$

«Ток трехфазного КЗ в расчётной точке КЗ (сеть 0,4 кВ)» [19]:

$$I_{\text{ПО.}}^{(3)} = \frac{U_{\text{СРНН}}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_{1\text{сумм}}^2 + X_{1\text{сумм}}^2}}, \text{ кА.} \quad (46)$$

$$I_{\text{ПО.}}^{(3)} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{17,73^2 + 17,233^2}} = 9,34 \text{ кА.}$$

$$T_{a\text{ТП}} = \frac{X_{\Sigma}}{\sqrt{3} \cdot R_{\Sigma}}, \text{ с.} \quad (47)$$

$$T_{a\text{ТП}} = \frac{17,233}{314 \cdot 17,73} = 0,003 \text{ с.}$$

$$\lambda_{\text{ТП}} = e^{\frac{-0,01}{T_a}}. \quad (48)$$

$$\lambda_{\text{ТП}} = e^{\frac{-0,01}{0,003}} = 0,036.$$

«Ударный ток в точке К3» [19]:

$$i_{\text{удК}} = \sqrt{2} \cdot I_{\text{ПО.К1}}^{(3)} \cdot (1 + \lambda_{\text{К1}}), \text{ кА.} \quad (49)$$

$$i_{\text{удК}} = \sqrt{2} \cdot 1,036 \cdot 9,34 = 13,68 \text{ кА.}$$

Сопротивления самого удаленного потребителя АДЦ сети 0,4 кВ:

$$X_2 = 0,24 \cdot 0,0802 = 19,2 \text{ мОм}, \quad (50)$$

$$R_2 = 0,24 \cdot 1,111 = 266,6 \text{ мОм.}$$

Суммарное сопротивление до самого удалённого приёмника, с учётом ранее рассчитанных параметров [19]:

$$X_{1\text{сумм.у}} = X_{1\text{сумм}} + X_2, \text{ мОм}, \quad (51)$$

$$X_{1\text{сумм.у}} = 17,233 + 19,2 = 36,433 \text{ мОм},$$

$$R_{1\text{сумм.у}} = R_{1\text{сумм}} + R_2, \text{ мОм.} \quad (52)$$

$$R_{1\text{сумм.у}} = 17,73 + 266,6 = 284,33 \text{ мОм.}$$

Ток однофазного КЗ к самому удалённому потребителю в начальный момент времени:

$$I_{\text{ПО.}}^{(1)} = \frac{U_{\text{СРНН}}}{\sqrt{R_{1\text{сумм.у}}^2 + X_{1\text{сумм.у}}^2}}, \text{ кА,}$$

$$I_{\text{ПО.}}^{(1)} = \frac{\sqrt{3} \cdot 400}{\sqrt{284,33^2 + 36,433^2}} = 2,25 \text{ кА.}$$

Результаты расчета токов КЗ представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Результаты расчёта токов КЗ в сети 0,4 кВ

Точка КЗ	$U_{\text{НОМ}}$ , кВ	$I_{\text{к}}^{(3)}$ , кА	$I_{\text{к}}^{(1)}$ , кА	$i_{\text{уд}}$ , кА
КЗ	0,4	9,34	2,25	13,68

Полученные результаты токов КЗ используются при выборе и проверке электрических аппаратов в сети 10 кВ и 0,4 кВ СЭС АДЦ.

## 2.6 Выбор электрических аппаратов

Проводится выбор и проверка электрических аппаратов для установки их в СЭС АДЦ. Выбору подлежат аппараты 10 кВ и 0,4 кВ СЭС объекта проектирования.

«Известно, что выбор аппаратов высокого напряжения (ЭВН) производится, исходя из следующих условий:

– по номинальному напряжению» [4]:

$$U_{\text{уст}} \leq U_{\text{н}}. \quad (53)$$

где « $U_{\text{уст}}$ ,  $U_{\text{ном}}$  – соответственно напряжения установки и номинальное

напряжение ЭАВН» [4];

– «по максимальному рабочему току» [4]:

$$I_{\text{раб.макс}} \leq I_n. \quad (54)$$

где « $I_{\text{раб.макс}}$ ,  $I_n$  – соответственно максимальный рабочий ток и номинальное значение тока ЭАВН» [4];

– «проверка ЭАВН на симметричный ток отключения» [4]:

$$I_{\pi\tau} \leq I_{\text{откн.н}}. \quad (55)$$

где « $I_{\pi\tau}$  – значение периодической составляющей тока КЗ;

$I_{\text{откн.н}}$  – номинальный ток отключения ЭАВН, кА» [4];

– «проверка ЭАВН на отключение асимметричного тока КЗ» [4]:

$$(\sqrt{2} \cdot I_{\pi\tau} + i_{a\tau}) \leq \sqrt{2} \cdot I_{\text{откн.н}} (1 + \beta_n), \quad (56)$$

где « $i_{a\tau}$  – значение аperiodической составляющей тока КЗ;

$\beta_n$  – номинальное значение относительного содержания аperiodической составляющей в отключаемом токе КЗ;

$\tau$  – наименьшее время от начала короткого замыкания до момента расхождения дугогасительных контактов, определяется так» [4]:

$$t = t_{\text{з.мин}} + t_{\text{с.в}}, \quad (57)$$

где « $t_{\text{з.мин}}$  – минимальное время действия релейной защиты, с;

$t_{\text{с.в}}$  – собственное время отключения выключателя, с» [4];

– «проверка ЭАВН на электродинамическую устойчивость» [4]:

$$i_y \leq i_{np.c}, \quad (58)$$

где « $i_{np.c}$  – действующее значение предельного сквозного тока КЗ;

$i_y$  – ударный ток КЗ» [4];

– «проверка ЭАВН на термическую стойкость» [4]:

$$B_k \leq I_T^2 t_T, \quad (59)$$

где  $B_k$  – «тепловой импульс по расчёту,  $A^2 \cdot c$ ;

$I_T$  – предельный ток термической устойчивости,  $A^2 \cdot c$ ;

$t_T$  – время протекания тока термической устойчивости,  $c$ » [4].

«Тепловой импульс тока КЗ» [4]:

$$B_k = I_k^2 (t_{отк} + T_a). \quad (60)$$

«Выключатели устанавливаются на питающем РУ-10 кВ ТП-10/0,4 кВ АДЦ.

Результаты выбора выключателей высокого напряжения» [19] представлены в работе в форме таблицы 7.

Таблица 7 – Результаты выбора выключателей 10 кВ СЭС АДЦ

Наименование аппарата	Условие выбора	Расчетные данные	Паспортные данные
Выключатели высокого напряжения VD-4-10-20/630-У2-48	$U_{сети} \leq U_{ном.}$	$U_{сети} = 10 \text{ кВ.}$	$U_{ном.} = 10 \text{ кВ.}$
	$I_{max} \leq I_{ном.}$	$I_{max} = 50,98 \text{ А.}$	$I_{ном.} = 630 \text{ А.}$
	$I_{н.т} \leq I_{отк.ном.}$	$I_{н.т} = 1,25 \text{ кА.}$	$I_{отк.ном.} = 20 \text{ кА.}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 2,47 \text{ кА.}$	$i_{дин.} = 32 \text{ кА.}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T.$	$I_T^2 \cdot t_T = 1,25^2 \cdot 3 = 4,69 \text{ кА}^2 \text{с.}$	$B_K = 20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2 \text{с.}$

«Результаты выбора трансформаторов тока 10 кВ для установки их в ячейках РУ-10 кВ ТП-10/0,4 кВ» [19] представлены в таблице 8.

Таблица 8 – Результаты выбора трансформаторов тока РУ-10 кВ ТП-10/0,4 кВ

Наименование аппарата	Условие выбора	Расчетные данные	Паспортные данные
Трансформаторы тока ТПОЛМ-10	$U_{сети} \leq U_{ном.}$	$U_{сети} = 10 \text{ кВ.}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ.}$
	$I_{max} \leq I_{ном.}$	$I_{max} = 50,98 \text{ А.}$	$I_{ном} = 100 \text{ А.}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 2,47 \text{ кА.}$	$i_{дин.} = 20 \text{ кА.}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T.$	$I_T^2 \cdot t_T = 1,25^2 \cdot 3 =$ $= 4,69 \text{ кА}^2\text{с.}$	$B_K = 20^2 \cdot 3 =$ $= 1200 \text{ кА}^2\text{с.}$

«Далее необходимо провести выбор и проверку новых электрических аппаратов для обеспечения защиты и коммутации» [19] электрической сети 0,4 кВ в системе электроснабжения АДЦ.

Для защиты и коммутации системы электроснабжения объекта, предлагается использовать автоматические выключатели с тепловыми и электромагнитными расцепителями. Автоматические выключатели играют важную роль в системе защиты электрической сети АДЦ, обеспечивая безопасность и надежность электроснабжения.

Приводится методика выбора автоматических выключателей.

Ток срабатывания теплового расцепителя автоматического выключателя по формуле [5]:

$$I_{тр(расц.)} \geq 1,2 \cdot I_i, \text{ А.} \quad (61)$$

где  $I_i$  – ток соответствующего режима работы выключателя (нормального или послеаварийного). Выбирается большее значение тока.

«Условия выбора автоматических выключателей» [5]:

$$I_{ном.а} \geq I_{тр(расц.)}, А. \quad (62)$$

$$I_{ном.а} \leq I_{эр(расц.)}, А. \quad (63)$$

Таким образом, основное условие выбора автомата состоит в том, чтобы номинальный ток автомата и ток уставки теплового расцепителя были больше, чем соответствующие расчётные токи нагрузки в сети [5].

Проводится выбор автомата для применения на линии «РУ-0,4 кВ ТП-10/0,4 кВ – ВРУ-0,4 кВ (1 секция сборных шин)».

Номинальный ток автоматического выключателя:

$$I_{ном.а} \geq 1,2 \cdot 543,8 = 652,6 А.$$

Ток срабатывания теплового расцепителя автоматического выключателя (по току послеаварийного режима):

$$I_{тр(расц.)} \geq 1,2 \cdot 543,8 = 652,6 А.$$

Предварительно принимается автомат ВА55-41 с такими параметрами:  
 $I_{ном.а} = 1000 А$ ,  $I_{тр(расц.)} = 1000 А$ ,  $I_{эр(расц.)} = 3000 А$  (кратность  $K = 3$ ) [1].

Условия проверок выполняются:

$$1000 А = 1000 А. \quad (64)$$

$$1000 А \leq 3000 А. \quad (65)$$

Окончательно принимается автомат ВА55-41 с такими параметрами:  
 $I_{ном.а} = 1000 А$ ,  $I_{тр(расц.)} = 1000 А$ ,  $I_{эр(расц.)} = 3000 А$  (кратность  $K = 3$ ) [1].

«Результаты выбора автоматических выключателей для защиты и коммутации питающей сети АДЦ» [19] представлены в таблице 9.



Таблица 9 – Результаты выбора автоматических выключателей сети АДЦ

Потребитель	$I_p$ , А	Марка	$I_{ном.а}$ , А	$I_{тр(расц.)}$ , А	$I_{эр(расц.)}$ , А
ТП-10/0,4 кВ					
Вводные автоматы	969,20	ВА 55-41	1000	1000	3000
Секционный автомат	860,12	ВА 55-41	1000	1000	3000
ВРУ					
Вводной автомат СШ I	543,81	ВА 55-41	1000	1000	3000
Вводной автомат СШ II	672,21	ВА 55-41	1000	1000	3000
Секционный автомат	615,54	ВА 57-39	630	630	1890
ЩВС (питающая силовая сеть)					
ЩВС-1	73,17	ВА 52-31	100	80	240
ЩВС-2	117,36	ВА 52-31	160	120	240
ЩВС-3	310,97	ВА 52-37	400	320	960
ЩВС-4	663,74	ВА 55-41	1000	1000	3000
ЩР, ЩО (распределительная силовая и осветительная сеть)					
ЩР1	8,84	ВА 47-29	10	10	30
ЩР2	2,66	ВА 47-29	6,3	6,3	18,9
ЩР3	55,03	ВА 52-31	100	63	189
ЩР4	6,64	ВА 47-29	10	10	30
ЩР5	97,66	ВА 52-31	100	100	300
ЩР6	12,33	ВА 47-29	16	16	48
ЩР7	0,57	ВА 47-29	6,3	6,3	18,9
ЩР8	6,80	ВА 47-29	10	10	30
ЩР9	250,06	ВА 52-37	400	320	960
ЩР10	0,23	ВА 47-29	6,3	6,3	18,9
ЩР11	8,80	ВА 47-29	10	10	30
ЩР12	51,84	ВА 52-31	100	63	189
ЩР13	158,54	ВА 52-35	250	200	600
ЩР14	183,50	ВА 52-35	250	200	600
ЩР15	78,74	ВА 52-31	100	100	300
ЩР16	243,01	ВА 52-35	250	200	600
ЩО1	36,52	ВА 47-29	40	40	120
ЩО2	5,83	ВА 47-29	6,3	6,3	18,9
ЩО3	7,61	ВА 47-29	10	10	30
ЩО4	0,81	ВА 47-29	6,3	6,3	18,9

Все выбранные автоматы для защиты питающей сети СЭС АДЦ показаны на слайдах.

Выводы по разделу.

Проведён выбор решений для их применения в системе электроснабжения административно-делового центра г. Обнинск, Калужская область. Питание внешней части СЭС (и всего СЭС АДЦ в целом) осуществляется от двухтрансформаторной подстанции 10/0,4 кВ, которую

планируется соорудить в непосредственной близости к АДЦ. Указанная подстанция будет питаться от энергосистемы двумя кабельными линиями напряжением 10 кВ. При этом резервирование будет осуществляться на питающем источнике энергосистемы напряжением 10 кВ.

Внешнее электроснабжение АДЦ предложено осуществляется кабельной линией напряжением 0,38/0,22 кВ с применением двух силовых кабелей напряжением 10 кВ. Следовательно, ВРУ-0,4 кВ АДЦ будет иметь два ввода.

На стороне 0,4 кВ питающей ТП-10/0,4 кВ осуществляется необходимое резервирование. Такая схема внешнего электроснабжения соответствует требованиям, предъявляемым к объектам второй категории надёжности нормативными документами.

Последующее распределение электроэнергии на территории АДЦ осуществляется от ВРУ-0,4 кВ, в схеме которого также применяется принцип «раздельного секционирования» и резервирования. ВРУ-0,4 кВ разделён на две секции сборных шин, между которыми установлен секционный автомат с устройством АВР. Таким образом, во внутренней СЭС АДЦ осуществляется необходимое резервирование, которое соответствует аналогичному резервированию на шинах РУ-0,4 кВ питающей ТП-10/0,4 кВ.

Далее во внутренней части СЭС АДЦ от шин ВРУ-0,4 кВ питают питание четыре щита вводных силовых (далее – ЩВС) и четыре щита освещения (далее – ЩО). От этих щитов питаются распределительные щиты (шестнадцать единиц – ЩР1-ЩР16). От последних непосредственно питаются потребители силовой и осветительной нагрузки на напряжении 0,38/0,22 кВ.

В работе проведён расчёт и выбор источников освещения, с учётом их количества и мощности, для применения в системе электроснабжения АДЦ. Проведён расчёт электрических нагрузок индивидуальных потребителей АДЦ, а также групповых нагрузок распределительных шкафов объекта проектирования. Также определена суммарная нагрузка ВРУ-0,4 кВ АДЦ.

Также определён однофазный ток КЗ к наиболее удалённому потребителю в сети 0,4 кВ.

Выбраны сечения и марки кабелей питающей сети напряжением 10 кВ и 0,4 кВ. Установлено, что питающие кабели марки СПЭ-10 (3×25) с изоляцией со сшитого полиэтилена, являются современным и эффективным решением для канализации электроэнергии на высоких нагрузках.

Питающая сеть напряжением 0,38/0,22 кВ АДЦ выполняется пятижильными кабелями ВВГнг-LS различных сечений. Установлено, что такие кабели обладают рядом существенных преимуществ, которые делают их идеальным выбором для использования в различных отраслях промышленности и системах электроснабжения гражданских сооружений, в том числе и в системе электроснабжения АДЦ.

Для защиты и коммутации питающей сети 10 кВ СЭС АДЦ, выбраны и проверены выключатели высокого напряжения VD-4-10-20/630-У2-48, а также трансформаторы тока марки ТПОЛМ-10.

Для защиты и коммутации питающей сети 0,4 кВ выбраны новые трёхфазные трёхполюсные автоматические выключатели марки ВА.

### **3 Выбор систем учёта и контроля электроэнергии и релейной защиты**

#### **3.1 Выбор системы учёта и контроля электроэнергии**

Выбор системы учёта и контроля в системе электроснабжения административно-делового центра (АДЦ) представляет собой фундаментальный элемент управления энергетическими ресурсами, который направлен на оптимизацию потребления энергии, повышение эффективности работы оборудования и улучшение экономических показателей деятельности предприятия.

Этот процесс имеет ключевое значение для реализации политики энергосбережения и снижения экологического воздействия.

Основная цель системы учёта и контроля заключается в точной и постоянной регистрации всех показателей потребления энергоресурсов (включая электроэнергию) в АДЦ.

Внедрение этих устройств позволяет не только обеспечить справедливое распределение затрат на электроэнергию между арендаторами и пользователями здания, но и выявить возможные зоны неэффективного использования ресурсов, что дает возможность оперативно реагировать на проблемы и оптимизировать работу системы.

Задачи, которые решает система учёта и контроля, включают мониторинг потребления энергии в реальном времени, анализ данных для выявления трендов потребления и потенциальных аномалий.

Данный аспект позволяет проводить корректировку настроек систем электроснабжения и автоматизации для минимизации потерь и повышения общей энергоэффективности здания.

Методы, используемые в системах учёта и контроля, могут варьироваться от простых механических счетчиков до сложных систем

автоматизированного учёта с использованием современных информационных и коммуникационных технологий.

Такой подход включает в себя интеграцию с распределёнными системами управления зданием (BMS), которые способны не только собирать и обрабатывать данные, но и автоматически адаптироваться к изменениям в потреблении энергии, что существенно повышает уровень управляемости и контроля над энергопотреблением.

Таким образом, внедрение эффективной системы учёта и контроля в системе электроснабжения АДЦ позволяет не только снизить операционные расходы на электроэнергию, но и способствует созданию более комфортной, безопасной и экономически эффективной рабочей среды.

Это делает такую систему необходимым инструментом для управления современными административно-деловыми комплексами, стремящимися к устойчивости и оптимизации своих операций.

При выборе системы контроля и учета электроэнергии для АДЦ необходимо учитывать множество факторов, таких как особенности работы оборудования, режим работы, виды освещения, звуковое и проекторное оборудование, кондиционеры и другие электроприборы.

Кроме того, такая система должна обеспечивать точный учет потребления электроэнергии и своевременно реагировать на изменения нагрузки и другие изменения в электросети.

Одним из важных критериев выбора такой системы является наличие защиты от несанкционированного доступа и манипуляций с данными.

Также необходимо учитывать возможности интеграции системы контроля и учета электроэнергии с другими системами АДЦ, такими как система автоматизации зданий, система безопасности, система пожаротушения и другие аналогичные системы.

В работе рекомендуется использовать автоматизированную информационно-измерительную систему коммерческого учета

электроэнергии (АИИСКУЭ) с трёхфазным многотарифным электронным SPLIT-счетчиком марки KNUM-2023 [15].

Такая система отвечает всем требуемым параметрам и обеспечивает высокую точность измерения, надежность и функциональность. Она представлена на рисунке 4.

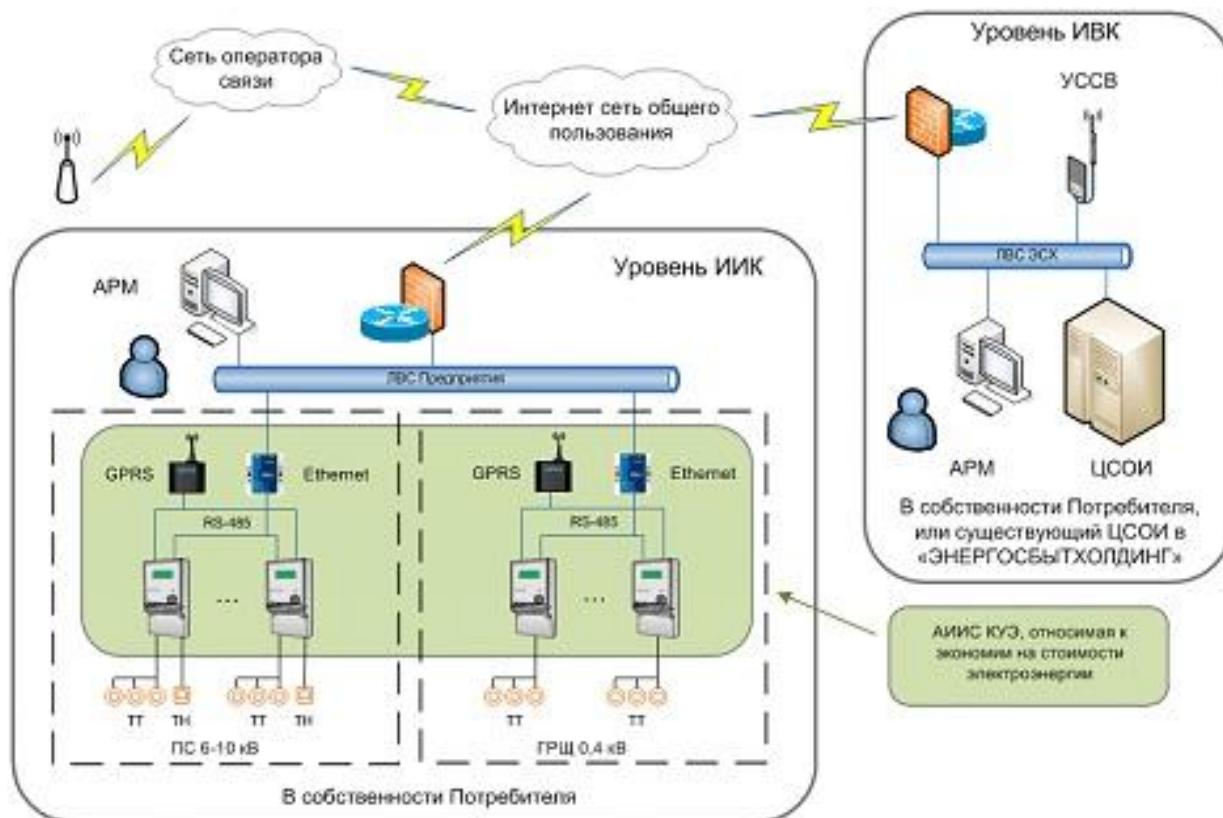


Рисунок 4 – Структурная схема АИИСКУЭ с трёхфазным многотарифным электронным SPLIT-счетчиком марки KNUM-2023

«Таким образом, выбор данного типа АИИСКУЭ, разработанная на основе современного быстродействующего и надёжного SPLIT-счетчика марки KNUM-2023, можно рекомендовать к применению в системе электроснабжения проектируемого АДЦ» [15].

Данная разработка выбрана в качестве базовой.

### 3.2 Выбор системы релейной защиты

Далее в работе осуществляется выбор системы релейной защиты АДЦ. Релейная защита устанавливается на высоковольтном выключателе питающей РУ-10 кВ ТП-10/0,4 кВ.

Для данной цели в работе выбран «многофункциональный терминал релейной защиты и автоматики 6-35 кВ ARIS-23XX» [6], внешний вид которого представлен на рисунке 5.



Рисунок 5 – «Многофункциональный терминал релейной защиты и автоматики 6-35 кВ ARIS-23XX» [6]

Многофункциональный терминал релейной защиты и автоматики 6-35 кВ ARIS-23XX представляет собой высокотехнологичное устройство, разработанное для обеспечения надежной защиты и управления в электроэнергетических системах.

Этот терминал интегрирует функции релейной защиты, автоматики, мониторинга и диагностики, что делает его идеальным решением для оптимизации работы и повышения эффективности электрических сетей.

Особенность терминала ARIS-23XX заключается в его универсальности и гибкости конфигурации, которая позволяет его использовать в различных сегментах электросети от 6 до 35 кВ.

Устройство оснащено современными средствами коммуникации и поддерживает множество протоколов передачи данных, что обеспечивает его легкую интеграцию в уже существующие системы управления энергетическими объектами.

Преимущества терминала ARIS-23XX включают его высокую надежность и точность в работе.

Терминал использует передовые алгоритмы для обнаружения и изоляции неисправностей в сети, что существенно снижает риск возникновения крупных аварий и обеспечивает непрерывность энергоснабжения потребителей.

Кроме того, благодаря модульной архитектуре, устройство можно легко адаптировать под изменяющиеся условия эксплуатации или расширение функционала системы без необходимости замены оборудования.

Также терминал обладает высоким уровнем защиты от внешних воздействий, включая электромагнитные помехи, что критически важно для обеспечения стабильности его функционирования в условиях интенсивной промышленной эксплуатации.

Эргономичный дизайн и пользовательский интерфейс обеспечивают удобство настройки и эксплуатации устройства, что снижает время на обучение персонала и упрощает процессы мониторинга и управления.

В целом, многофункциональный терминал релейной защиты и автоматики ARIS-23XX является современным и эффективным решением, предназначенным для повышения уровня безопасности, надежности и экономичности электрических сетей СЭС АДЦ.



Уставки релейных защит выставляются блоком автоматически, для чего необходимо ввести рассчитанные ранее параметры [6]:

- максимальных рабочих токов;
- максимальных токов кз (трёхфазных);
- минимальных токов кз (двухфазных).

Таким образом, выбор данного типа блока РХ для применения в СЭС АДЦ, обоснован.

Выводы по разделу.

Выбрана АИИСКУЭ, реализованная на основе SPLIT-счетчика марки KNUM-2023, которая обеспечивает высокую точность измерения, надежность и гибкость в использовании, что делает такую систему идеальным выбором в качестве системы коммерческого учета электроэнергии в СЭС объекта исследования.

Для релейной защиты линии 10 кВ предложено принять многофункциональный терминал релейной защиты и автоматики ARIS-23XX. Установлено, что такой терминал является современным и эффективным решением.

## Заключение

В работе проведено проектирование системы электроснабжения административно-делового центра г. Обнинск, Калужская область. Проведено описание исходных данных с последующим их анализом.

Определено, что проектируемый АДЦ относится ко 2 категории надёжности потребителей. Установлено, что в состав АДЦ, входят помещения, которые выполняют свою функциональную задачу на объекте проектирования. Указано, что все они выполняют свою функциональную задачу на объекте проектирования.

Определено, что в процессе проектирования системы электроснабжения АДЦ необходимо находить оптимальные решения, учитывающие баланс технических решений с одной стороны и экономических – с другой. При таком подходе спроектированная СЭС будет наиболее надёжной, экономичной и безопасной. Проведён выбор решений для их применения в системе электроснабжения административно-делового центра. Питание внешней части СЭС (и всего СЭС АДЦ в целом) осуществляется от двухтрансформаторной подстанции 10/0,4 кВ, которую планируется соорудить в непосредственной близости к АДЦ.

Указанная подстанция будет питаться от энергосистемы двумя кабельными линиями напряжением 10 кВ. При этом резервирование будет осуществляться на питающем источнике энергосистемы напряжением 10 кВ.

Внешнее электроснабжение АДЦ предложено осуществляется с двумя вводами и необходимым уровнем резервирования. Такая схема внешнего электроснабжения соответствует требованиям, предъявляемым к объектам второй категории надёжности нормативными документами.

Последующее распределение электроэнергии на территории АДЦ осуществляется от ВРУ-0,4 кВ, в схеме которого также применяется принцип «раздельного секционирования» и резервирования. ВРУ-0,4 кВ разделён на две секции сборных шин, между которыми установлен секционный автомат с

устройством АВР. Таким образом, во внутренней СЭС АДЦ осуществляется необходимое резервирование, которое соответствует аналогичному резервированию на шинах РУ-0,4 кВ питающей ТП-10/0,4 кВ.

Далее во внутренней части СЭС АДЦ от шин ВРУ-0,4 кВ питают питание четыре щита вводных силовых (далее – ЩВС) и четыре щита освещения (далее – ЩО). От этих щитов питаются распределительные щиты (шестнадцать единиц – ЩР1-ЩР16). От последних непосредственно питаются потребители силовой и осветительной нагрузки на напряжении 0,38/0,22 кВ.

В работе проведён расчёт и выбор источников освещения, с учётом их количества и мощности, для применения в системе электроснабжения АДЦ.

Проведён расчёт электрических нагрузок индивидуальных потребителей АДЦ, а также групповых нагрузок распределительных шкафов объекта проектирования. Также определена суммарная нагрузка ВРУ-0,4 кВ АДЦ. Обосновано применение двух силовых трансформаторов марки ТМ-630/10 на питающей ТП-10/0,4 кВ.

Также определён однофазный ток КЗ к наиболее удалённому потребителю в сети 0,4 кВ. Выбраны сечения и марки кабелей питающей сети напряжением 10 кВ и 0,4 кВ. Установлено, что кабели марки СПЭ-10 (3×25) питающей сети с изоляцией со сшитого полиэтилена, являются современным и эффективным решением для канализации электроэнергии на высоких нагрузениях. Питающая сеть напряжением 0,38/0,22 кВ АДЦ выполняется пятижильными кабелями ВВГнг-LS различных сечений. Установлено, что такие кабели обладают рядом существенных преимуществ, которые делают их идеальным выбором для использования в различных отраслях промышленности и системах электроснабжения гражданских сооружений, в том числе и в системе электроснабжения АДЦ.

Для защиты и коммутации питающей сети 0,4 кВ выбраны новые трёхфазные трёхполюсные автоматические выключатели марки ВА.

Выбрана АИИСКУЭ, реализованная на основе SPLIT-счетчика марки KNUM-2023, которая обеспечивает высокую точность измерения, надежность и гибкость в использовании, что делает такую систему идеальным выбором в качестве системы коммерческого учета электроэнергии в СЭС объекта исследования.

Для релейной защиты линии 10 кВ предложено принять многофункциональный терминал релейной защиты и автоматики ARIS-23XX. Установлено, что такой терминал является современным и эффективным решением.

С учётом этого можно сделать вывод о том, что будут обеспечена надёжность не только в силовой сети объекта проектирования, но и в контрольно-измерительных цепях и цепях релейной защиты объекта.

Таким образом, спроектированная система электроснабжения АДЦ отвечает требованиям надёжности, экономичности, а также электробезопасности.

Полученные научные результаты могут найти применение на других аналогичных объектах.

## Список используемых источников

1. Выключатели автоматические ВА. [Электронный ресурс]: URL: <https://www.elektrokontaktor.ru/produkcija/vyklyuchateli-avtomaticheskie-va> (дата обращения: 24.04.2024).
2. Длительно допустимый ток кабеля ВВГнг LS. [Электронный ресурс]: URL: <https://ru.pinterest.com/pin/463870830372952509/> (дата обращения: 24.04.2024).
3. Киреева Э.В. Электроснабжение и электрооборудование организаций и учреждений. М.: Кнорус, 2019. 236 с.
4. Конюхова Е.А. Электроснабжение объектов. М.: Академия, 2021. 400 с.
5. Куксин А.В. Электроснабжение промышленных предприятий. Учебное пособие. М.: Инфра-Инженерия, 2021. 156 с.
6. Многофункциональный терминал релейной защиты и автоматики 6-35 кВ ARIS-23XX [Электронный ресурс]: URL: <https://prosoftsystems.ru/catalog/show/mnogofunkcionalnyj-terminal-relejnoj-zaschity-i-avtomatiki-6-35-kv-2305-2308> (дата обращения: 24.04.2024).
7. Немировский А.Е. Электрооборудование электрических сетей, станций и подстанций. М.: Инфра-Инженерия, 2020. 174 с.
8. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. Изд-во ДЕАН, 2022. 192 с.
9. Правила устройства электроустановок. 7-е издание. Изд-во ЦентрМаг, 2022. 584 с.
10. Сибикин Ю.Д. Пособие к курсовому и дипломному проектированию электроснабжения промышленных, сельскохозяйственных и городских объектов. Учебное пособие. М.: Форум, 2021. 383 с.
11. Сибикин Ю.Д. Электроснабжение промышленных и гражданских зданий. Учебное пособие. М.: Форум, Инфра-М, 2022. 406 с.
12. Сибикин Ю.Д., Сибикин М.Ю., Яшков В.А. Электроснабжение

промышленных предприятий и установок. Учебное пособие. М.: Форум, Инфра-М, 2022. 365 с.

13. СП 440.1325800.2018 Проектирование естественного и искусственного освещения. [Электронный ресурс]: URL: <https://docs.cntd.ru/document/554819713> (дата обращения: 24.04.2024).

14. СПЭ. Кабель с изоляцией из сшитого полиэтилена в полиэтиленовой оболочке с продольной и поперечной герметизацией на напряжение 10 кВ. [Электронный ресурс]: URL: [https://www.ruscable.ru/info/wire/mark/pvpu2g\\_kamkabel/](https://www.ruscable.ru/info/wire/mark/pvpu2g_kamkabel/) (дата обращения: 24.04.2024).

15. Счетчики электрической энергии многофазные KNUM-2023. [Электронный ресурс]: URL: <https://all-pribors.ru/opisanie/37883-09-knum-2023-39124> (дата обращения: 24.04.2024).

16. Федеральный закон «Об электроэнергетике» от 26.03.2003 № 35-ФЗ об энергосбережении [Электронный ресурс]: URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_41502/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_41502/) (дата обращения: 24.04.2024).

17. Федеральный закон от 23.11.2009 № 261-ФЗ (ред. от 29.07.2017) «Об энергосбережении, повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» (с изменениями на 13 июня 2023 года). [Электронный ресурс]: URL: <https://docs.cntd.ru/document/902186281> (дата обращения: 24.04.2024).

18. Фризен В.Э., Назаров С.Л. Расчет и выбор электрооборудования низковольтных распределительных сетей промышленных предприятий. Екатеринбург: Издательство Уральского университета, 2021. 184 с.

19. Щербаков Е.Ф., Александров Д.С. Электроснабжение и электропотребление на предприятиях. М.: Форум, Инфра-М, 2019. 495 с.

20. Энергетическая стратегия РФ на период до 2035 года. Распоряжение Правительства РФ от 9 июня 2020 г. № 1523-р. Москва: Министерство энергетики, 2020. 142 с.