

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 Реконструкция системы электроснабжения административно-делового центра г.
Петрозаводск

Обучающийся

П. Л. Куприянов

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н. В. И. Платов

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

Аннотация

В работе проведена реконструкция системы электроснабжения административно-делового центра г. Петрозаводск.

Такая реконструкция обусловлена несоответствием установленным нормам по качеству и надёжности, схемы электрических соединений питающей сети объекта исследования.

Помимо реконструкции установлено, что все кабельные линии и автоматы питающей и распределительной сети системы электроснабжения административно-делового центра устарели и требуют срочной замены, так как значительно увеличилось количество аварий на объекте.

Для достижения поставленной цели, при разработке проекта системы электроснабжения (далее – СЭС) административно-делового центра г. Петрозаводск (далее – АДЦ), в работе проведено решение следующих практических задач:

- выбор и обоснование технических изменений, рекомендованных для внесения в схему СЭС АДЦ;
- расчёт электрических нагрузок (освещения, силовой и суммарной);
- расчёт токов короткого замыкания;
- выбор и проверка кабелей и коммутационной аппаратуры;
- разработка системы учёта и контроля электроэнергии для применения в СЭС АДЦ.

Работа содержит пояснительную записку на 59 страницах и 6 чертежей формата А1.

Содержание

Введение.....	4
1 Обоснование решений по реконструкции системы электроснабжения.....	7
1.1 Анализ состояния системы электроснабжения.....	7
1.2 Выбор решений по реконструкции системы электроснабжения	14
2 Технические предложения по реконструкции системы электроснабжения	20
2.1 Расчёт электрических нагрузок	20
2.2 Расчёт токов КЗ	33
2.3 Выбор кабелей и коммутационной аппаратуры	40
3 Разработка системы учёта и контроля электроэнергии	52
Заключение	55
Список используемых источников.....	58

Введение

Самостоятельные административно-деловые центры (АДЦ) представляют собой независимые бизнес-объекты, которые не относятся к какой-либо определенной организации или компании.

Они предназначены для аренды офисных помещений, конференц-залов, переговорных комнат и других необходимых для ведения бизнеса помещений на короткий или длительный срок.

Самостоятельные АДЦ могут быть различных типов и размеров, от небольших офисов до крупных деловых комплексов, включающих в себя несколько зданий и имеющих широкий спектр услуг и инфраструктуры.

Они могут предлагать арендаторам как готовые офисные помещения, так и возможность провести индивидуальный дизайн-проект, согласно потребностям и пожеланиям клиента.

К основным преимуществам самостоятельных АДЦ относятся:

- гибкость в выборе площади и срока аренды: арендатор может выбрать необходимую ему площадь и срок аренды, не привязываясь к конкретной организации или компании;
- наличие необходимой инфраструктуры: самостоятельные АДЦ, как правило, оснащены всем необходимым для ведения бизнеса: высокоскоростным интернетом, современной офисной техникой, системами кондиционирования и вентиляции, системами безопасности и видеонаблюдения, парковкой и прочими аналогичными современными коммуникациями;
- экономия времени и средств: аренда офисных помещений в самостоятельных АДЦ позволяет экономить время и средства на поиск и оборудование собственного офиса, а также на оплату коммунальных услуг и налогов;
- возможность использования дополнительных услуг: такие структуры могут предлагать арендаторам широкий спектр дополнительных

услуг, таких как секретарское обслуживание, услуги переводчиков, курьерские услуги, уборка помещений и многие другие;

- престиж и имидж: как правило, расположение офиса в самостоятельном АДЦ способно повысить престиж и имидж компании, а также способствовать ее развитию и росту.

В целом, самостоятельные административно-деловые центры являются удобным и эффективным решением для бизнеса любого масштаба и направленности, предоставляя возможность арендовать необходимые помещения и инфраструктуру на гибких условиях и с экономией средств.

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.

Данные «аспекты определяют актуальность и практическую ценность настоящей работы.

Основной целью работы является реконструкция системы электроснабжения административно-делового центра г. Петрозаводск.

Объектом исследования является система электроснабжения административно-делового центра г. Петрозаводск.

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

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

В рамках данного комплекса, проводится решение следующих поставленных задач:

- выбор и обоснование технических изменений, рекомендованных для внесения в схему СЭС АДЦ;
- расчёт электрических нагрузок (освещения, силовой и суммарной);
- расчёт токов короткого замыкания;
- выбор и проверка кабелей и коммутационной аппаратуры;
- разработка системы учёта и контроля электроэнергии для применения в СЭС АДЦ.

1 Обоснование решений по реконструкции системы электроснабжения

1.1 Анализ состояния системы электроснабжения

Рассматриваемый в работе АДЦ расположен в г. Петрозаводск Республики Карелия.

Данный АДЦ – полностью самостоятельный, не относится к какой-либо организации, в городе он выполняет следующие функции:

- организация работы государственных учреждений и коммерческих организаций: АДЦ предоставляет помещения для размещения государственных учреждений и коммерческих организаций, обеспечивая необходимые условия для их работы;
- оказание услуг населению: объект предоставляет различные услуги населению, такие как регистрация недвижимости, оформление документов, консультации по юридическим и финансовым вопросам;
- организация мероприятий: АДЦ может организовывать различные мероприятия, такие как конференции, семинары, выставки и другие, связанные с бизнесом и государственным управлением;
- обеспечение безопасности: объект обеспечивает безопасность размещающихся в нем учреждений и организаций, а также посетителей центра, обеспечивая надлежащее функционирование систем охраны и безопасности;
- поддержание чистоты и порядка: АДЦ обеспечивает содержание помещений в чистоте и порядке, обеспечивая надлежащее функционирование систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха;
- обеспечение связи: объект обеспечивает надлежащее функционирование систем связи, обеспечивая возможность связи размещающихся в нем учреждений и организаций с внешним миром.

В целом, АДЦ в г. Петрозаводске выполняет важную роль в обеспечении работы государственных учреждений и коммерческих организаций, а также в оказании услуг населению.

При этом АДЦ также способствует развитию бизнеса и государственного управления в регионе, обеспечивая необходимые условия для их работы.

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

Внешнее электроснабжение АДЦ осуществляется от действующей трансформаторной подстанции ТП-10/0,4 кВ г. Петрозаводска, кабельной линией с применением одного силового кабеля напряжением 0,4 кВ марки АВВГ (3×50+1×25).

Данная линия питает вводное распределительное устройство (далее – ВРУ-0,4 кВ) АДЦ. То есть данное ВРУ объекта проектирования в настоящее время имеет один ввод.

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

Питающая трансформаторная подстанция ТП-10/0,4 кВ получает питание от РП-10 кВ кабельной линией марки АСБл-10 (3×35).

На ТП-10/0,4 кВ находятся два силовых трансформатора марки ТМГ-1000/10. Оба трансформатора в нормальном режиме находятся в работе, питая, кроме рассматриваемого АДЦ, другие потребители г. Петрозаводска.

На подстанции используются выключатели нагрузки марки ВНПУ-10/250-10-У3, плавкие предохранители марки ПК103-10-100-31,5/У3, а также устаревшие и изношенные автоматы ввода, секционный и линейные автоматы, марки АЕ.

Существующая схема внешнего электроснабжения АДЦ (однолучевая радиальная схема) представлена на рисунке 1.

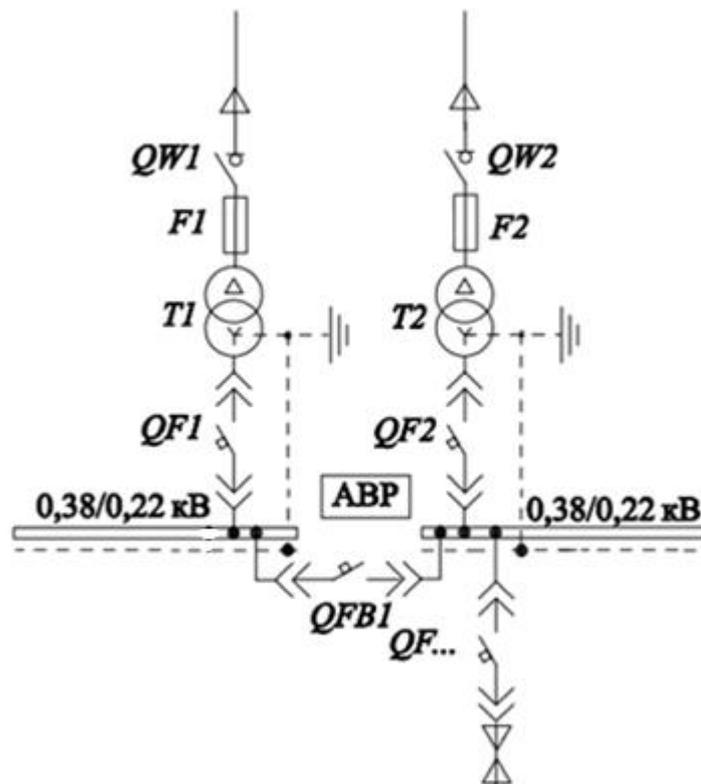


Рисунок 1 – Существующая схема внешнего электроснабжения АДЦ (однолучевая радиальная схема)

Последующее распределение электроэнергии на территории АДЦ осуществляется от ВРУ-0,4 кВ, питающего шкафы распределительные силовые (далее – ШР) и шкафы освещения (далее – ШО).

От них питаются непосредственно потребители силовой и осветительной нагрузки на напряжении 0,38/0,22 кВ.

Данные потребители питаются также устаревшими кабелями марки АВВГ, которые требуют замены вследствие морального и физического износа.

Существующие схемные решения, применяющиеся в системе электроснабжения административно-делового центра г. Петрозаводск, представлены в работе на рисунке 2.

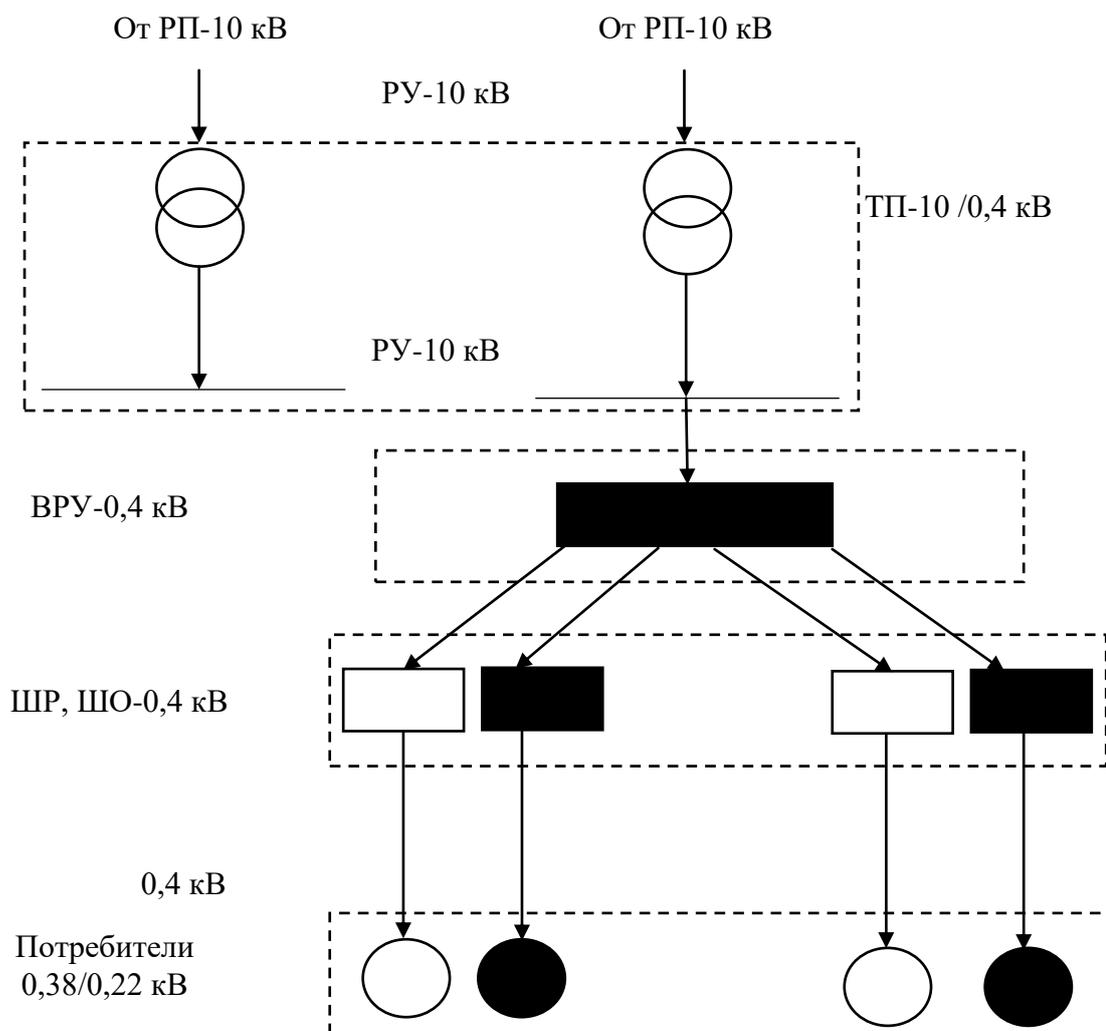


Рисунок 2 – Существующие схемные решения, применяющиеся в системе электроснабжения административно-делового центра г. Петрозаводск

Существующие схемные решения, применяющиеся в системе электроснабжения административно-делового центра г. Петрозаводск, также показаны в графической части работы (графический лист 1).

Далее рассматриваются потребители АДЦ. АДЦ состоит из цокольного и первого этажа. На каждом из них располагается свои помещения с оборудованием и сетями. Также есть второй этаж, однако он в работе детально не рассматривается, так как не является темой настоящей работы.

Установлено, что к основным технологическим помещениям первого этажа системы электроснабжения АДЦ, относятся следующие объекты:

- выставочный зал;
- конференц-зал;

- офисные помещения;
- помещения административных служб;
- бизнес-инкубатор;
- буфет и магазин;
- фойе;
- санузлы;
- галерея-атриум.

К основным технологическим помещениям цокольного этажа системы электроснабжения АДЦ, относятся следующие объекты:

- котельная;
- вентиляционная;
- электрощитовая;
- подсобные помещения.

Также на цокольном этаже размещены офисные и административные помещения.

Кроме того, цокольный этаж здания АДЦ предусматривает систему питания и вентиляции для второго этажа, которая будет предоставляться в аренду.

В работе детально не описано использование этого пространства, однако оно может быть использовано для размещения различных учреждений и организаций, требующих надлежащего функционирования систем питания и вентиляции.

Таким образом, цокольный этаж здания АДЦ может обеспечить необходимые условия для работы учреждений и организаций, размещающихся на втором этаже, а также обеспечить надлежащее функционирование систем питания и вентиляции.

Это позволит создать комфортные условия для работы и предоставит возможность эффективно управлять системами питания и вентиляции, необходимыми для нормальной работы учреждений и организаций, размещающихся в здании АДЦ.

План помещений первого этажа АДЦ представлен на рисунке 3.

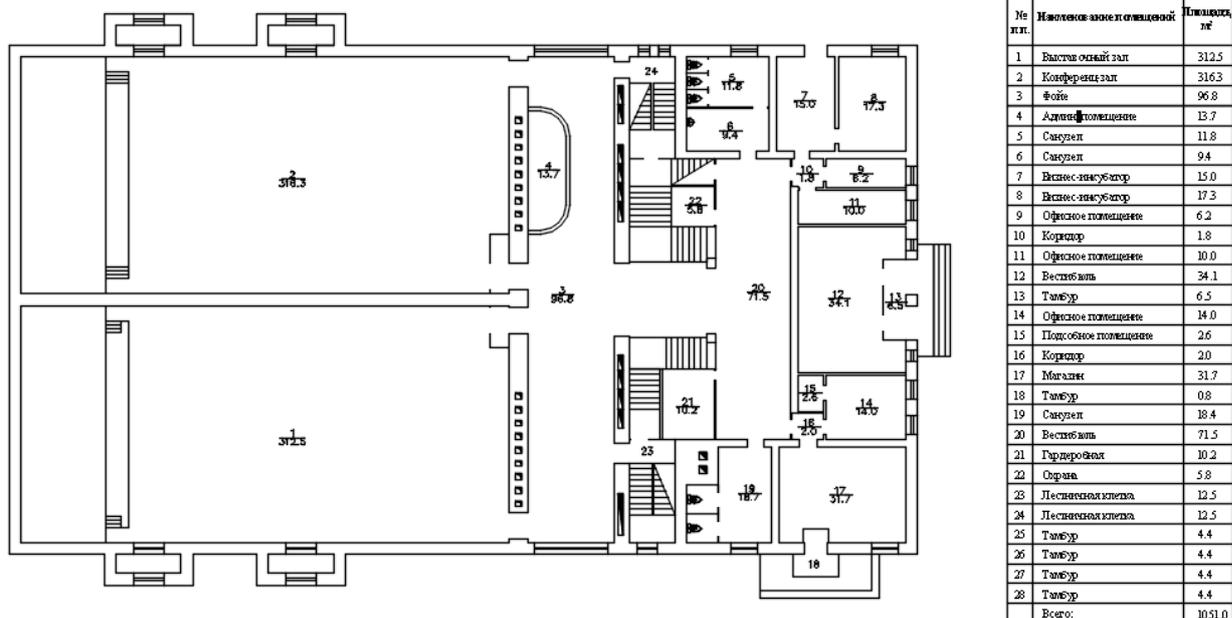


Рисунок 3 – План помещений первого этажа АДЦ со спецификацией помещений

План помещений цокольного этажа АДЦ со спецификацией помещений представлен на рисунке 4.

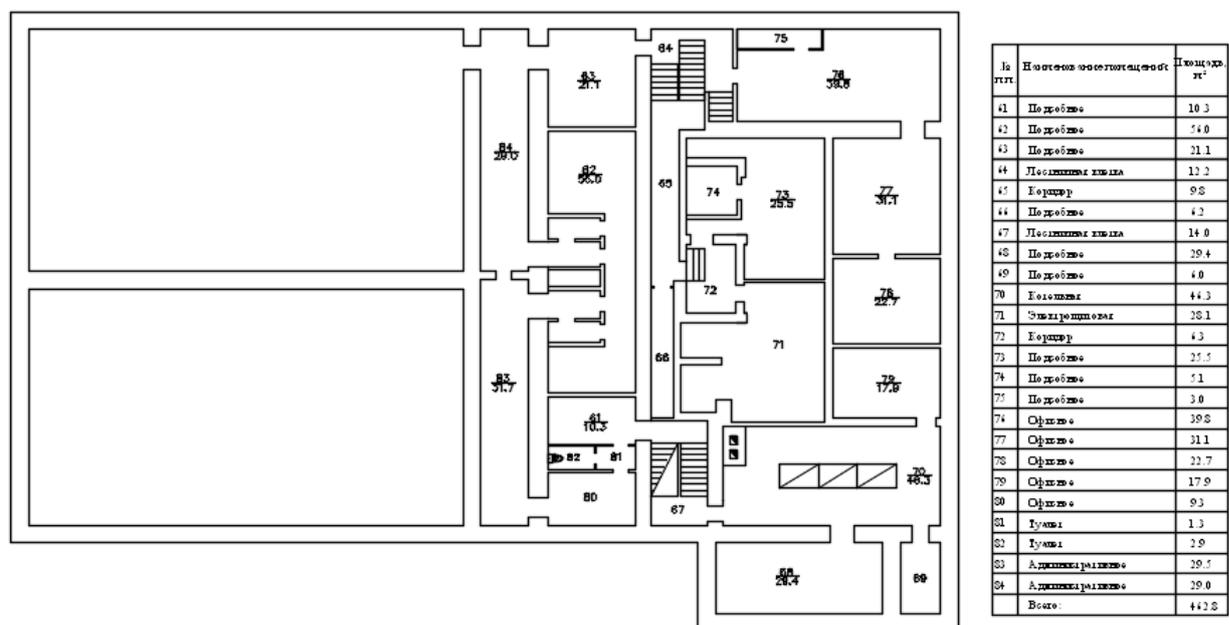


Рисунок 4 – План помещений цокольного этажа АДЦ со спецификацией помещений

В помещениях цокольного и первого этажей АДЦ находится основное оборудование, исходные проектные мощности по которому приведены в форме таблицы 1.

Таблица 1 – Исходные проектные мощности по основному оборудованию первого и цокольного этажей АДЦ

Наименование оборудования	Нагрузка проектная установленная						
	P_n , кВт	n , шт.	$P_{n\text{ сум}}$, кВт	K_u	I_n , А	$\cos \varphi$	$\operatorname{tg} \varphi$
Первый этаж							
Выставочный зал							
Дымовые машины	0,2	2	0,4	0,5	0,72	0,85	0,62
Стробоскоп	0,2	2	0,4	0,5	0,72	0,85	0,62
Усилитель	0,5	2	0,4	0,9	0,76	0,8	0,75
Проектор	3	2	6,0	0,5	11,41	0,8	0,75
Проектор	3	2	6,0	0,5	11,41	0,8	0,75
Вспомогательное оборудование	0,5	1	0,5	0,9	2,53	0,9	0,48
Оборудование помещений первого этажа							
Галерея-атриум	0,2	2	0,4	1,0	1,91	0,95	0,33
Вентиляция туалетов	0,5	2	1,0	1,0	5,35	0,85	0,62
Рукосушитель	1,8	2	3,6	0,2	17,22	0,95	0,33
Оборудование буфета	3	1	3,0	0,6	4,80	0,95	0,33
Терминалы самообслуживания	0,3	6	1,8	0,6	9,63	0,85	0,62
Конференц-зал							
Кондиционирование	2,2	2	4,4	0,6	7,87	0,85	0,62
Тепловая завеса	2,2	1	2,2	0,9	11,76	0,85	0,62
Проекторное оборудование	3,5	2	7,0	0,4	12,53	0,85	0,62
Коридор							
Кондиционирование	2,2	1	2,2	0,6	11,76	0,85	0,62
Тепловая завеса	2,2	1	2,2	0,9	11,76	0,85	0,62
Цокольный этаж							
Бойлер котельной	2,2	1	2,2	0,6	10,53	0,95	0,33
Нагрузка помещения бизнес-инкубатора	2,2	1	2,2	0,6	10,53	0,95	0,33
Стиральная машина	2,2	1	2,2	0,3	11,11	0,9	0,48
Привод общеобменной вентиляции	2,2	1	2,2	1,0	11,76	0,85	0,62
Нагрузка офисных и административных помещений	0,4	20	8,0	0,5	13,52	0,9	0,48
Циркуляционный двигатель котельной	2,2	1	2,2	0,5	3,94	0,85	0,62
Циркуляционный двигатель котельной	2,2	1	2,2	0,5	3,94	0,85	0,62
Котельная поддув	3,2	1	3,2	0,8	5,73	0,85	0,62
Пожарный насос (авар. режим)	3,2	2	6,4	1,0	11,45	0,85	0,62
Дополнительная транзитная нагрузка (второй этаж здания)							
Питание второго этажа ЩР-К	-	-	73,0	-	113,31	0,98	0,20
Вентиляция второго этажа	-	-	5,7	-	10,20	0,85	0,62
Пожарно-охранная сигнализация	0,5	1	0,5	0,6	2,53	0,9	0,48
Итого	-	-	240	-	-	0,94	0,35

Таким образом, при дальнейшей «разработке проекта реконструкции системы электроснабжения административно-делового центра г. Петрозаводск, необходимо учесть совокупность приведённых исходных технических данных» [16].

1.2 Выбор решений по реконструкции системы электроснабжения

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 реконструкции системы электроснабжения административно-делового центра г. Петрозаводск.

Как было установлено ранее, внешнее электроснабжение АДЦ осуществляется от действующей трансформаторной подстанции ТП-10/0,4 кВ г. Петрозаводска, кабельной линией с применением одного силового кабеля напряжением 0,4 кВ марки АВВГ (3×50+1×25). Данная линия питает вводное распределительное устройство (далее – ВРУ-0,4 кВ) АДЦ. То есть данное ВРУ объекта проектирования в настоящее время имеет один ввод.

Определено, что такая схема внешнего электроснабжения не соответствует требованиям, предъявляемым к объектам второй категории надёжности нормативными документами [9], [10].

По этой причине, в первую очередь, необходимо рассмотреть вопрос по реконструкции питающей схемы объекта и провести выбор рациональной схемы.

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

К ним относятся:

- максимальная нагрузка отдельных потребителей (73,0 кВт, таблица 1);
- суммарная нагрузка потребителей объекта (240 кВт, таблица 1);

- категория надёжности объекта и электроприёмников (объект 2 категории надёжности);
- расстояние до питающей подстанции (узла) энергосистемы (ТП-10/0,4 кВ г. Петрозаводска, расстояние – 67 м);
- структура электрической сети (присутствуют классы напряжения 10 кВ на питающей ТП, а также 0,38/0,22 кВ – во всей остальной схеме);
- необходимые условия резервирования и секционирования (принимаются согласно потребителю 2 категории);
- прочие аналогичные факторы и условия (климатические, топографические).

Таким образом, внешнее электроснабжение АДЦ предложено осуществляется от действующей трансформаторной подстанции ТП-10/0,4 кВ г. Петрозаводска, кабельной линией с применением двух силовых кабелей напряжением 10 кВ.

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

Такая схема внешнего электроснабжения соответствует требованиям, предъявляемым к объектам второй категории надёжности нормативными документами [9], [10].

Таким образом, в схеме внешнего электроснабжения АДЦ после реконструкции, применяется двухлучевая радиальная схема, которая показана на рисунке 5.

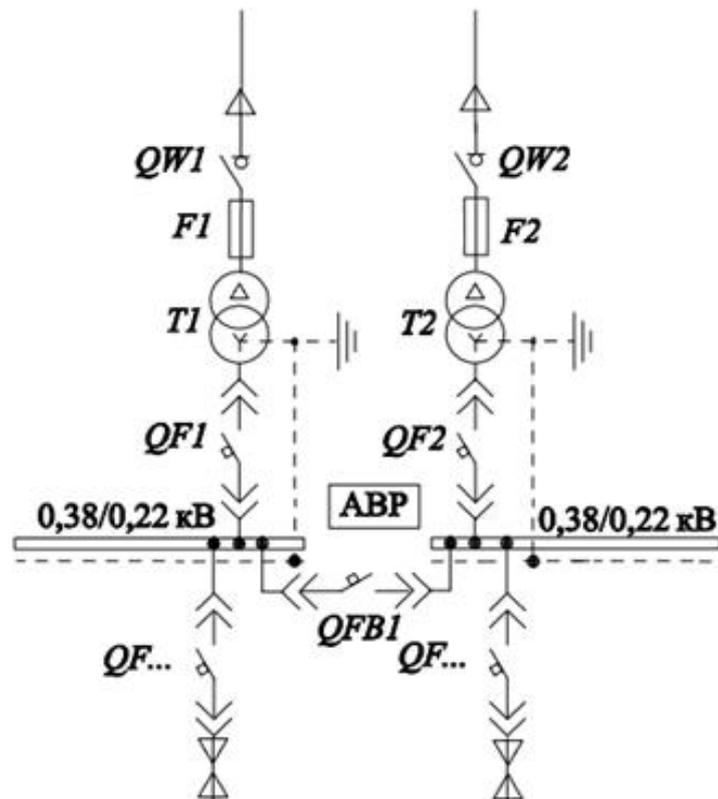


Рисунок 5 – Схема внешнего электроснабжения АДЦ, выбранная после реконструкции СЭС объекта (двухлучевая радиальная схема)

Последующее распределение электроэнергии на территории АДЦ осуществляется от ВРУ-0,4 кВ, питающего шкафы распределительные силовые (далее – ШР) и шкафы освещения (далее – ШО).

От них питаются непосредственно 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 обязательно должны соблюдаться условия резервирования, секционирования и надёжности [10], а также ремонтпригодности [9] и безопасности [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 системе электроснабжения административно-делового центра г. Петрозаводск в результате проведения реконструкции, представлены в работе на рисунке 6.

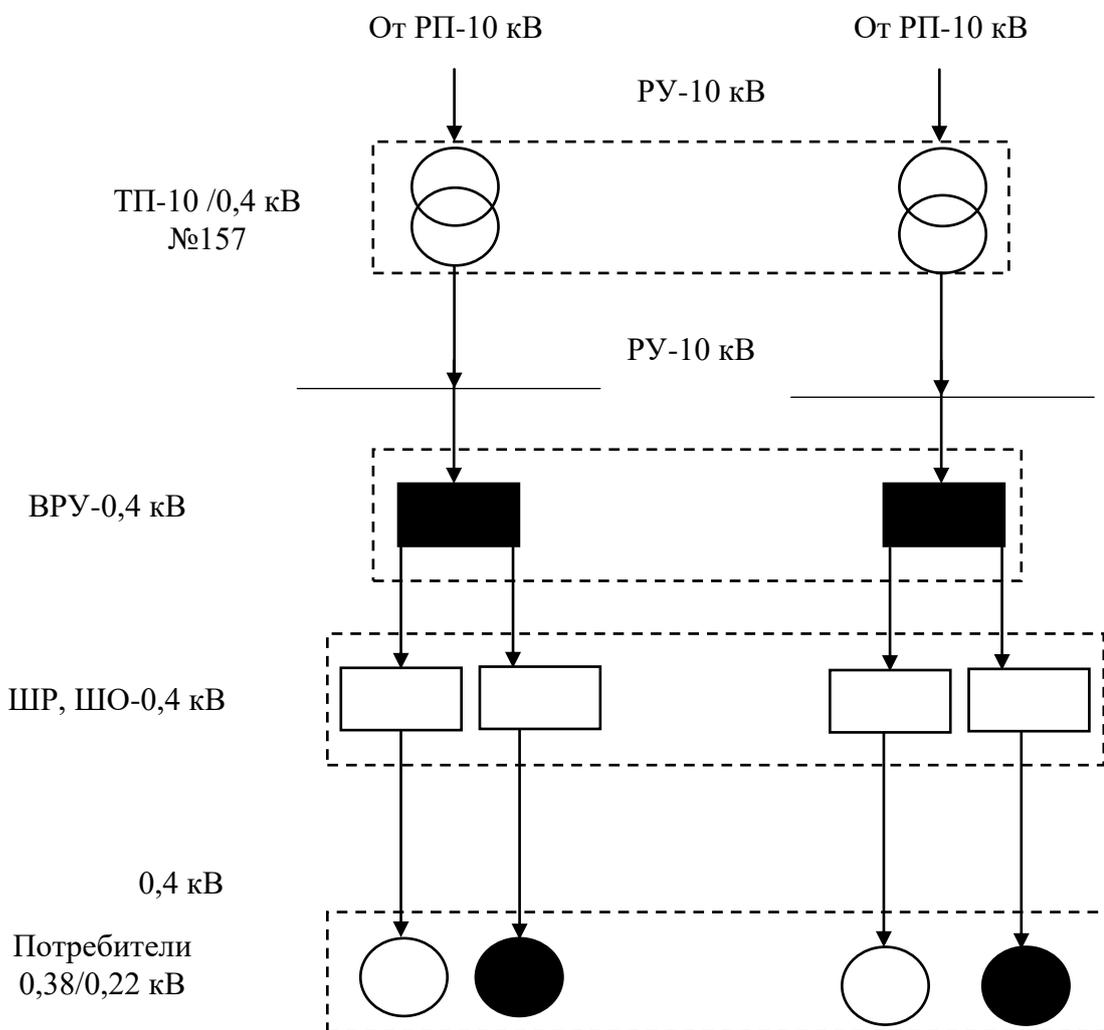


Рисунок 6 – Принятые схемные решения, рекомендуемые для внедрения в системе электроснабжения административно-делового центра г. Петрозаводск в результате проведения реконструкции СЭС данного объекта

Принятые схемные решения, рекомендуемые для внедрения в системе электроснабжения административно-делового центра г. Петрозаводск, также показаны в графической части работы.

Кроме того, в работе установлено, что помимо реконструкции схемы объекта исследования, также требуется провести модернизацию следующих элементов СЭС АДЦ:

- питающей кабельной линии напряжением 0,4 кВ, которая выполнена устаревшим и изношенным кабелем марки АВВГ (3×50+1×25);
- распределительной сети 0,4 кВ, которая также выполнена устаревшими кабелями марки АВВГ, требующих замены вследствие морального и физического износа;
- автоматических выключателей марки АЕ различных типонаименований, применяющихся для защиты оборудования, а также кабелей питающей и распределительной сети объекта, требующих замены вследствие устаревания, износа и недостаточной надёжности и функциональности.

Данные мероприятия планируется внедрить в работе.

Выводы по разделу.

Проведён анализ исходных технических данных существующей системы электроснабжения административно-делового центра г. Петрозаводск.

Установлено, что АДЦ состоит из цокольного и первого этажа. На каждом из них располагается свои помещения с оборудованием и сетями, которые выполняют свою технологическую роль на объекте. Приведены исходные фактические нагрузки основного оборудования первого и цокольного этажей АДЦ. Также установлено, что на объекте имеется дополнительная транзитная нагрузка второго этажа здания (в работе детально не рассматривается, так как к АДЦ не относится).

Как было установлено ранее, внешнее электроснабжение АДЦ осуществляется от действующей трансформаторной подстанции ТП-10/0,4 кВ г. Петрозаводска, кабельной линией с применением одного силового кабеля напряжением 0,4 кВ марки АВВГ (3×50+1×25). Данная линия питает ВРУ-0,4 кВ АДЦ, которое в исходной схеме объекта имеет один ввод.

Определено, что такая схема внешнего электроснабжения не соответствует требованиям, предъявляемым к объектам второй категории надёжности нормативными документами.

Таким образом, внешнее электроснабжение АДЦ предложено осуществляется от действующей трансформаторной подстанции ТП-10/0,4 кВ г. Петрозаводска, кабельной линией с применением двух силовых кабелей напряжением 10 кВ.

Следовательно, ВРУ-0,4 кВ АДЦ после реконструкции будет иметь два ввода. Такая схема внешнего электроснабжения соответствует требованиям, предъявляемым к объектам второй категории надёжности нормативными документами.

Таким образом, обосновано, что в работе требуется реконструкция схемы питающей сети 0,4 кВ АДЦ. Данное мероприятие определено в качестве основного в работе.

Кроме того, в работе установлено, что помимо реконструкции схемы объекта исследования, также требуется внедрить мероприятия по модернизацию следующих элементов СЭС АДЦ:

- питающей кабельной линии напряжением 0,4 кВ, которая выполнена устаревшим и изношенным кабелем марки АВВГ (3×50+1×25);
- распределительной сети 0,4 кВ, которая также выполнена устаревшими кабелями марки АВВГ, требующих замены вследствие морального и физического износа;
- автоматических выключателей марки АЕ различных типономиналов, применяющихся для защиты оборудования, а также кабелей питающей и распределительной сети объекта, требующих замены вследствие устаревания, износа и недостаточной надёжности и функциональности.

Данные мероприятия планируется внедрить в работе.

2 Технические предложения по реконструкции системы электроснабжения

2.1 Расчёт электрических нагрузок

Расчёт электрических нагрузок в СЭС АДЦ включает расчёт двух составляющих [19]:

- осветительной нагрузки;
- силовой нагрузки.

На первом этапе проводится расчёт осветительной нагрузки.

В работе применяется светодиодное освещение.

Известно, что светодиодное освещение превосходит традиционные источники света, такие как лампы накаливания, люминесцентные лампы и галогенные лампы, по многим параметрам.

Во-первых, оно намного более энергоэффективно, поскольку светодиодные лампы потребляют значительно меньше энергии, при этом предоставляя тот же уровень освещенности.

Это позволяет снизить затраты на электроэнергию и сократить выбросы углерода в атмосферу.

Во-вторых, светодиодные лампы имеют гораздо более продолжительный срок службы, чем традиционные лампы, и могут работать до 50 000 часов и более, в то время как лампы накаливания обычно работают только 1 000-2 000 часов.

В-третьих, светодиодные лампы не содержат опасных веществ, таких как ртуть, и не выделяют ультрафиолетовое излучение. Кроме того, они не нагреваются как традиционные лампы, что снижает риск пожаров.

В-четвертых, светодиодные лампы могут быть изготовлены в различных формах и размерах, что делает их идеальным выбором для различных применений, от домашнего освещения до уличного освещения и промышленного освещения.

В-пятых, светодиодные лампы предоставляют высокое качество света, которое может быть настроено для соответствия конкретным потребностям. Они способны создавать теплый или холодный свет, а также изменять цвета для создания различных настроений.

Наконец, светодиодное освещение более экологично, чем традиционные лампы, поскольку оно потребляет меньше энергии и не содержит опасных веществ. Кроме того, более длительный срок службы светодиодных ламп снижает количество отходов. Таким образом, светодиодное освещение является более эффективным, безопасным, гибким, экологичным и качественным решением, чем традиционные источники света.

«Для наружного освещения АДЦ следует применять:

- рабочее освещение;
- аварийное освещение.

Оптимальное расстояние между светильниками определяется» [14]:

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

где « H_p – расчётная высота подвеса светильника, м;

$\lambda_c, \lambda_\varepsilon$ – относительные светотехнические и энергетические
выгоднейшие расстояния между светильниками, м» [14].

«Расчётная высота подвеса выбранного типа светильника» [14]:

$$H_p = H_o - h_{cv} - h_{pab}, \quad (2)$$

где « H_o – высота помещения, м;

$h_{cv} = 0,5$ м - высота свеса светильника;

h_{pab} – высота освещаемой рабочей поверхности от пола, м» [14].

«Число светильников по длине помещения, шт.» [14]:

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

«Число светильников по ширине помещения, шт.» [14]:

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

«Общее число светильников, шт.» [14]:

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

«Действительное расстояние между светильниками и рядами» [14]:

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

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

«Расчёт источников освещения проводится методом коэффициента использования светового потока» [14]:

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

где « E_n - заданная минимальная освещенность, лк;

K_3 - коэффициент запаса ($K_3=1,15$ для светодиодных ламп);

S - освещаемая площадь, м²;

Z - коэффициент неравномерности, равный 1,1 - 1,2;

N - общее количество светильников, шт.;

η_u - коэффициент использования светового потока, о.е.» [14].

«Индекс помещения» [14]:

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

«Отклонение расчетного светового потока от светового потока выбранного источника света» [14]:

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

«Проводится расчёт размещения светильников по выражениям (1 - 10) для освещения вестибюля АДЦ» [14]:

$$H_p = 3 - 0,5 - 1 = 2,5 \text{ м.}$$

$$1,5 \cdot 2,5 = 3,75 \leq L = 4 \leq 2 \cdot 2,5 = 5.$$

$$N_A = \frac{24 - 2 \cdot 0,5}{4} + 1 \approx 8.$$

$$N_B = \frac{12 - 2 \cdot 0,5}{4} + 1 \approx 3.$$

$$N_\Sigma = 3 \cdot 8 = 24 \text{ шт.}$$

$$L_A = \frac{24}{8} = 3 \text{ м.}$$

$$L_B = \frac{12}{3} = 4 \text{ м.}$$

$$i = \frac{66 \cdot 16}{4,5 \cdot (66 + 16)} = 2,86.$$

«Выбирается светодиодная LED лампа типа PHILIPS LED Bulb A-150 со стандартным световым потоком $\Phi_{ст} = 2300$ лм» [13].

«Для данного типа источника освещения» [13]:

$$\Phi = \frac{30 \cdot 1050 \cdot 1,15 \cdot 1,1}{24 \cdot 0,76} = 2184,6 \text{ лм.}$$

«Отклонение расчетного светового потока от светового потока источника света находится в допустимых пределах (-10÷20%)» [13]:

$$\Delta\Phi = \frac{2300 - 2184,5}{2184,5} \cdot 100 = 5,28\%.$$

Таким образом, для освещения кассового вестибюля АДЦ принимаются 24 источника освещения (лампы) выбранной марки. Расчёт освещения остальных помещений АДЦ выполнен аналогично. Результаты приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Расчёт освещения помещений АДЦ

Наименование потребителей освещения	P_n , кВт	n , шт.	$P_{n \text{ сум}}$, кВт	K_u	I_n , А	$\cos \varphi$	$\text{tg } \varphi$
Освещение фойе первого этажа	0,08	8	0,64	1,0	3,42	0,85	0,62
Освещение выставочного зала и конференц-зала							
Световой карниз (4 линейки в двух залах)	0,06	192	11,5	0,3	17,70	0,99	0,14
Потолочные светильники	0,04	68	2,38	0,3	3,66	0,99	0,14
Прожекторы дежурного освещения	0,5	4	2	0,3	9,18	0,99	0,14
Освещение помещений первого этажа							
Освещение вестибюля	0,04	24	0,96	1,0	4,41	0,99	0,14
Освещение фойе	0,04	48	1,92	1,0	8,82	0,99	0,14
Освещение галереи-атриума	0,04	4	0,16	1,0	0,86	0,85	0,62
Освещение туалетов	0,06	8	0,48	1,0	2,20	0,99	0,14
Освещение кафе и магазина	0,02	68	1,36	0,9	7,27	0,85	0,62
Освещение коридоров первого этажа	0,020	32	0,64	0,9	3,42	0,85	0,62
Уличное освещение							
Козырёк у входа	0,5	1	0,5	0,8	2,53	0,9	0,48
Освещение плакатов и рекламы	0,25	9	2,25	0,8	3,46	0,99	0,14
Цокольный этаж							
Освещение цокольного этажа (аварийное освещение)	0,06	20	1,2	1,0	1,84	0,99	0,14
Освещение цокольного этажа (рабочее освещение)	0,02	160	3,2	1,0	5,73	0,85	0,62

Отдельное внимание следует уделить осветительной сети выставочного зала и конференц-зала.

Осветительная сеть данных залов АДЦ, разработанная с учётом количества источников освещения и схемных решений, выбранных ранее, представлена на рисунке 7.

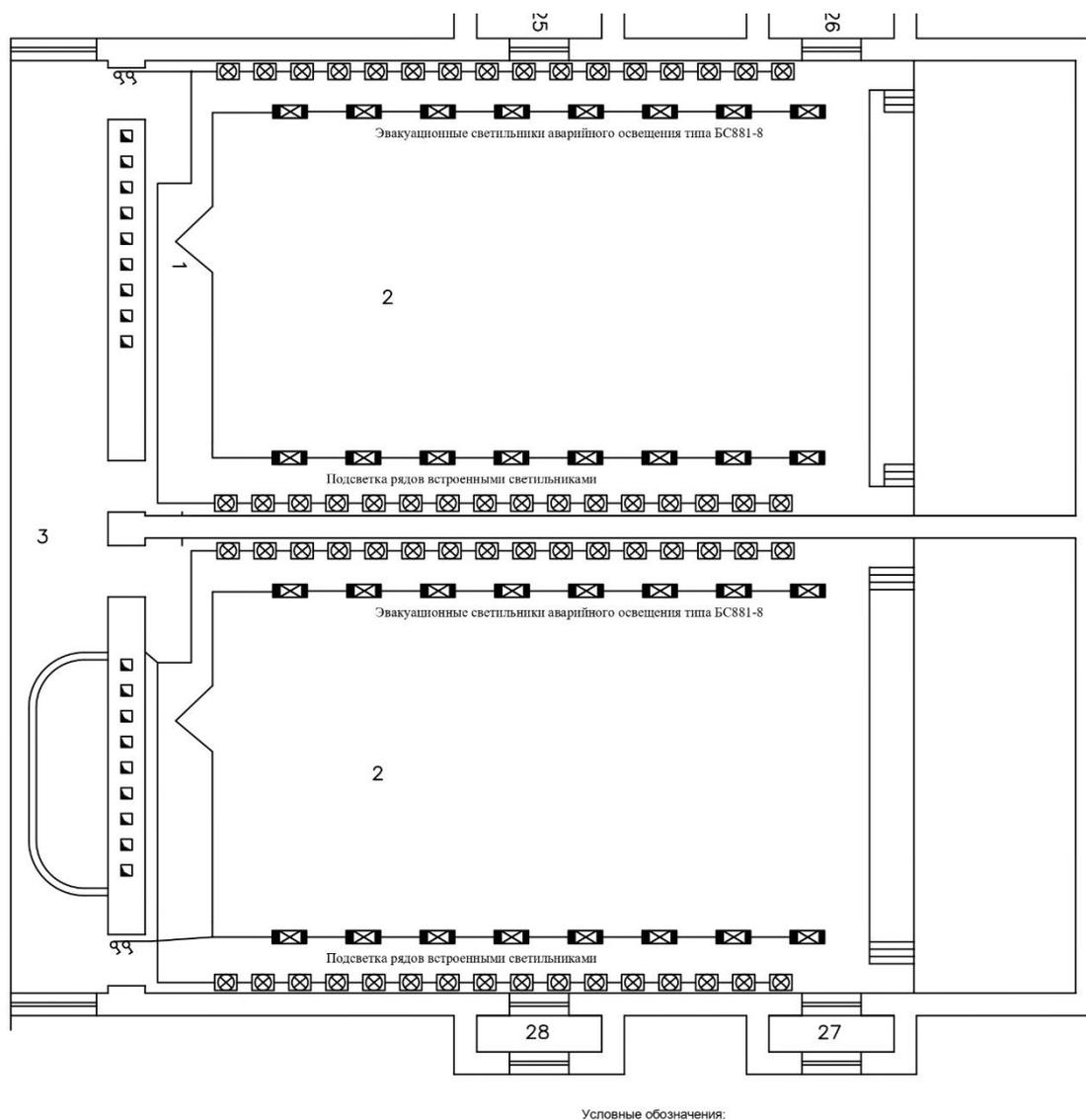


Рисунок 7 – Осветительная сеть выставочного зала и конференц-зала АДЦ, разработанная с учётом количества источников освещения и схемных решений

Принятые решения также отражены в графической части работы на чертеже 3.

Далее в работе проводится расчёт силовых нагрузок АДЦ. Расчетные электрические нагрузки АДЦ определяется методом коэффициента использования [11].

Метод коэффициента использования (МКИ) является распространенным методом расчета электрических нагрузок в системах электроснабжения.

Он отличается простотой и удобством использования, поскольку не требует специализированных вычислений или программного обеспечения.

Это делает его доступным и удобным для использования в различных типах зданий и сооружений, включая жилые дома, офисные здания, промышленные предприятия и коммерческие объекты.

Основным преимуществом метода является точность, поскольку он учитывает фактическое использование электроэнергии различными потребителями и оборудованием.

Кроме того, МКИ учитывает временные факторы, такие как коэффициент одновременности и коэффициент мощности, что позволяет более точно оценить пиковую нагрузку на электрическую сеть.

Метод МКИ также позволяет спрогнозировать максимальную нагрузку на электросеть, что помогает избежать перегрузки и предотвратить необходимость дорогостоящей модернизации электрической сети. Кроме того, он соответствует нормативным требованиям и стандартам, установленным для расчета электрических нагрузок в системах электроснабжения.

Основной особенностью МКИ является использование коэффициентов использования для оценки электрической нагрузки различных потребителей и оборудования.

Коэффициент использования определяется как отношение фактической мощности, потребляемой потребителем или оборудованием, к номинальной мощности. Это позволяет более точно оценить электрическую нагрузку, учитывая фактическое использование электроэнергии.

В целом, МКИ является эффективным и точным методом расчета электрических нагрузок, который широко используется в системах электроснабжения для обеспечения надежного и безопасного электроснабжения. Таким образом, метод МКИ является обоснованным для применения в системе электроснабжения АДЦ [18].

Далее приводится методика расчёта нагрузок с помощью МКИ.

Индивидуальные нагрузки определяются для каждого потребителя отдельно, учитывая его номинальную мощность и напряжение, а также коэффициенты использования и мощности.

«Активная расчётная нагрузка» [12]:

$$P_p = P_{ном} \cdot k_u, \text{кВт}, \quad (11)$$

где k_u – коэффициент использования электрооборудования, о.е.

«Реактивная расчётная нагрузка» [12]:

$$Q_p = P_p \cdot \text{tg}\varphi, \text{квар}. \quad (12)$$

«Полная расчётная нагрузка» [12]:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}, \text{кВА}. \quad (13)$$

«Расчетный ток» [12]:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}, \text{А}, \quad (14)$$

где $U_{ном}$ – номинальное напряжение, кВ.

На примере потребителя «Дымовые машины со световым эффектом»:

$$P_p = 0,4 \cdot 0,5 = 0,2 \text{ кВт},$$

$$Q_p = 0,2 \cdot 0,62 = 0,12 \text{ квар},$$

$$S_p = \sqrt{0,2^2 + 0,12^2} = 0,235 \text{ кВА},$$

$$I_p = \frac{0,235}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 0,36 \text{ А}.$$

Результаты расчёта других нагрузок получены аналогично и представлены в таблице 3.

Таблица 3– Результаты расчёта нагрузок индивидуальных потребителей АДЦ

Потребитель	Нагрузка установленная							Нагрузка расчётная			
	P_n , кВт	n , шт	P_n сум, кВт	K_u	I_n , А	$\cos \varphi$	$tg \varphi$	I_p , А	P_p , кВт	Q_p , квар	S_p , кВА
Выставочный зал											
Дымовые машины со световым эффектом	0,2	2	0,4	0,5	0,72	0,85	0,62	0,36	0,20	0,12	0,235
Дымовые машины со световым эффектом	0,2	2	0,4	0,5	0,72	0,85	0,62	0,36	0,20	0,12	0,235
Усилитель	0,5	2	0,4	0,9	0,76	0,8	0,75	0,68	0,36	0,27	0,45
Проектор	3	2	6	0,5	11,41	0,8	0,75	5,70	3,00	2,25	3,75
Проектор	3	2	6	0,5	11,41	0,8	0,75	5,70	3,00	2,25	3,75
Вспомогательное оборудование	0,5	1	0,5	0,9	2,53	0,9	0,48	2,27	0,45	0,22	0,5
Галерея-атриум	0,2	2	0,4	1	1,91	0,95	0,33	1,91	0,40	0,13	0,421
Освещение фойе первого этажа	0,08	8	0,64	1	3,42	0,85	0,62	3,42	0,64	0,40	0,753
Специальное освещение выставочного зала и конференц-зала											
Световой карниз (4 линейки в двух залах)	0,06	192	11,5	0,3	17,70	0,99	0,14	5,31	3,46	0,49	3,491
Потолочные светильники	0,04	68	2,38	0,3	3,66	0,99	0,14	1,10	0,71	0,10	0,721
Прожекторы дежурного освещения	0,5	4	2	0,3	9,18	0,99	0,14	2,75	0,60	0,09	0,606
Специальные помещения первого этажа											
Вентиляция туалетов	0,5	2	1	1	5,35	0,85	0,62	5,35	1,00	0,62	1,176
Рукосушитель	1,8	2	3,6	0,2	17,22	0,95	0,33	3,44	0,72	0,24	0,758

Продолжение таблицы 3

Потребитель	Нагрузка установленная							Нагрузка расчётная			
	P_n , кВт	n , шт	P_n сум, кВт	K_u	I_n , А	$\cos \varphi$	$tg \varphi$	I_p , А	P_p , кВт	Q_p , квар	S_p , кВА
Оборудование буфета	3	1	3	0,6	4,80	0,95	0,33	2,88	1,80	0,59	1,895
Терминалы самообслуживания	0,3	6	1,8	0,6	9,63	0,85	0,62	5,78	1,08	0,67	1,271
Освещение вестибюля	0,04	24	0,96	1	4,41	0,99	0,14	4,41	0,96	0,14	0,97
Освещение фойе	0,04	48	1,92	1	8,82	0,99	0,14	8,82	1,92	0,27	1,939
Освещение галереи-атриума	0,04	4	0,16	1	0,86	0,85	0,62	0,86	0,16	0,10	0,188
Освещение туалетов	0,06	8	0,48	1	2,20	0,99	0,14	2,20	0,48	0,07	0,485
Конференц-зал											
Освещение (общее)	0,02	68	1,36	0,9	7,27	0,85	0,62	6,55	1,22	0,76	1,44
Кондиционирование	2,2	2	4,4	0,6	7,87	0,85	0,62	4,72	2,64	1,64	3,106
Тепловая завеса	2,2	1	2,2	0,9	11,76	0,85	0,62	10,59	1,98	1,23	2,329
Проекторное оборудование	3,5	2	7	0,4	12,53	0,85	0,62	5,01	2,80	1,74	3,294
Коридор											
Освещение	0,020	32	0,64	0,9	3,42	0,85	0,62	3,08	0,58	0,36	0,678
Кондиционирование	2,2	1	2,2	0,6	11,76	0,85	0,62	7,06	1,32	0,82	1,553
Тепловая завеса	2,2	1	2,2	0,9	11,76	0,85	0,62	10,59	1,98	1,23	2,219
Уличное освещение											
Козырёк у входа	0,5	1	0,5	0,8	2,53	0,9	0,48	2,02	0,40	0,19	0,444
Освещение плакатов и рекламы	0,25	9	2,25	0,8	3,46	0,99	0,14	2,77	1,80	0,26	1,818
Цокольный этаж											
Бойлер котельной	2,2	1	2,2	0,6	10,53	0,95	0,33	2,11	1,32	0,43	1,389
Нагрузка помещения бизнес-инкубатора	2,2	1	2,2	0,6	10,53	0,95	0,33	2,11	1,32	0,43	1,389
Стиральная машина	2,2	1	2,2	0,3	11,11	0,9	0,48	1,12	0,66	0,32	0,733
Привод общеобменной вентиляции	2,2	1	2,2	1	11,76	0,85	0,62	11,76	2,20	1,36	2,588
Нагрузка офисных и административных помещений	0,4	20	8	0,5	13,52	0,9	0,48	6,76	4,00	1,94	4,444
Освещение цокольного этажа (аварийное освещение)	0,06	20	1,2	1	1,84	0,99	0,14	1,84	1,20	0,17	1,212
Освещение цокольного этажа (рабочее освещение)	0,02	160	3,2	1	5,73	0,85	0,62	5,73	3,20	1,98	3,765

Продолжение таблицы 3

Потребитель	Нагрузка установленная							Нагрузка расчётная			
	P_n , кВт	n , шт	P_n сум, кВт	K_u	I_n , А	$\cos \varphi$	$tg \varphi$	I_p , А	P_p , кВт	Q_p , квар	S_p , кВА
Циркуляционный двигатель котельной	2,2	1	2,2	0,5	3,94	0,85	0,62	1,97	1,10	0,68	1,294
Циркуляционный двигатель котельной	2,2	1	2,2	0,5	3,94	0,85	0,62	1,97	1,10	0,68	1,294
Котельная поддув	3,2	1	3,2	0,8	5,73	0,85	0,62	4,58	2,56	1,59	3,012
Пожарный насос (авар. режим)	3,2	2	6,4	1	11,45	0,85	0,62	11,45	6,40	3,97	7,529
Питание второго этажа ЩР-К	-	-	73	-	113,31	0,98	0,20	95,00	62,00	12,59	63,27
Вентиляция второго этажа	-	-	5,7	-	10,20	0,85	0,62	6,26	3,50	1,00	3,64
Пожарно-охранная сигнализация	0,5	1	0,5	0,6	2,53	0,9	0,48	1,52	0,30	0,15	0,333
Итого	-	-	240	-	-	0,94	0,35	204,37	126,72	44,64	134,4

Групповые расчётные нагрузки определяются как алгебраическая сумма индивидуальных нагрузок [11]:

$$P_{P,\Sigma} = \sum P_p, \quad (15)$$

$$Q_{P,\Sigma} = \sum Q_p, \quad (16)$$

$$S_{P,\Sigma} = \sqrt{P_{P,\Sigma}^2 + Q_{P,\Sigma}^2}. \quad (17)$$

$$I_{\Sigma} = \frac{S_{\Sigma}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}, A. \quad (18)$$

Определяются групповые расчётные нагрузки:

- распределительных щитов силовой нагрузки;
- распределительных щитов осветительной нагрузки.

Кроме того, также определяется нагрузка всей СЭС АДЦ, которая является нагрузкой ВРУ-0,4 кВ объекта. Результаты расчета групповых электрических нагрузок АДЦ приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Расчет групповых электрических нагрузок АДЦ

Наименование РУ	Нагрузка установленная							Нагрузка расчётная			
	P_n , кВт	n , шт	P_n сум, кВт	K_u	I_n , А	$\cos \varphi$	$tg \varphi$	I_p , А	P_p , кВт	Q_p , квар	S_p , кВА
ЩР 1-3											
Дымовые машины со световым эффектом	0,2	1	0,2	0,5	0,36	0,85	0,62	0,18	0,10	0,06	0,118
Дымовые машины со световым эффектом	0,2	1	0,2	0,5	0,36	0,85	0,62	0,18	0,10	0,06	0,118
Усилитель	0,5	1	0,2	0,9	0,38	0,8	0,75	0,34	0,18	0,14	0,225
Проектор	3	1	3	0,5	5,70	0,8	0,75	2,85	1,50	1,13	1,875
Проектор	3	1	3	0,5	5,70	0,8	0,75	2,85	1,50	1,13	1,875
Вспомогательное оборудование	0,5	1	0,5	0,9	2,53	0,9	0,48	2,27	0,45	0,22	0,5
Галерея-атриум	0,2	1	0,2	1	0,96	0,95	0,33	0,96	0,20	0,07	0,211
Освещение фойе первого этажа	0,08	4	0,32	1	1,71	0,85	0,62	1,71	0,32	0,20	0,376
Световой карниз (2 линейки в зале)	0,06	96	5,76	0,3	8,85	0,99	0,14	2,66	1,73	0,25	1,745
Потолочные светильники	0,04	34	1,19	0,3	1,83	0,99	0,14	0,55	0,36	0,05	0,361
Прожекторы дежурного освещения	0,5	2	1	0,3	4,59	0,99	0,14	1,38	0,30	0,04	0,303
Всего по ЩР 1-3	-	-	15,6	-	-	0,9	0,49	11,43	6,735	3,33	7,514
ЩР 1-6											
Вентиляция туалета	0,5	1	0,5	1	2,67	0,85	0,62	2,67	0,50	0,31	0,588
Рукосушитель	1,8	1	1,8	0,3	8,61	0,95	0,33	2,58	0,54	0,18	0,568
Оборудование буфета	3	1	3	0,6	4,80	0,95	0,33	2,88	1,80	0,59	1,895
Пожарно-охранная сигнализация	0,5	1	0,5	0,6	2,53	0,9	0,48	1,52	0,30	0,15	0,333
Освещение туалета	0,06	8	0,48	1	2,20	0,99	0,14	2,20	0,48	0,07	0,485
Всего по ЩР 1-6	-	-	6,28	-	-	0,94	0,36	11,86	3,62	1,29	3,844
ЩР 1-4											
Освещение галереи-атриума	0,04	4	0,16	1	0,86	0,85	0,62	0,86	0,16	0,10	0,188
Освещение	0,040	32	1,28	0,9	6,84	0,85	0,62	6,16	1,15	0,71	1,355
Кондиционирование	2,2	1	2,2	0,6	11,76	0,85	0,62	7,06	1,32	0,82	1,553
Козырёк у входа	0,5	1	0,5	0,8	2,53	0,9	0,48	2,02	0,40	0,19	0,444
Освещение плакатов и рекламы	0,25	9	2,25	0,8	3,46	0,99	0,14	2,77	1,80	0,26	1,818
Всего по ЩР 1-4	-	-	6,39	-	-	0,92	0,43	8,00	4,832	2,08	5,261
ЩР 1-1											
Терминалы самообслуживания	0,3	6	1,8	0,6	9,63	0,85	0,62	5,78	1,08	0,67	1,271
Освещение вестибюля	0,04	26	1,04	1	4,78	0,99	0,14	4,78	1,04	0,15	1,051
Освещение фойе	0,04	48	1,92	1	8,82	0,99	0,14	8,82	1,92	0,27	1,939

Продолжение таблицы 4

Наименование РУ	Нагрузка установленная							Нагрузка расчётная			
	P_n , кВт	n , шт	P_n сум, кВт	K_u	I_n , А	$\cos \varphi$	$tg \varphi$	I_p , А	P_p , кВт	Q_p , квар	S_p , кВА
Гардеробная	1,2	1	1,2	0,5	5,51	0,99	0,14	2,75	0,60	0,09	0,606
Освещение подсобных помещений цокольного этажа	0,06	12	0,72	1	3,31	0,99	0,14	3,31	0,72	0,10	0,727
Всего по ЦР 1-1	-	-	5,48	-	-	0,97	0,25	7,46	4,76	1,19	4,907
ЩР 1-2											
Освещение	0,02	68	1,36	0,9	7,27	0,85	0,62	6,55	1,22	0,76	1,44
Кондиционирование	2,2	2	4,4	0,6	7,87	0,85	0,62	4,72	2,64	1,64	3,106
Тепловая завеса	2,2	1	2,2	0,9	11,76	0,85	0,62	10,59	1,98	1,23	2,329
Проекторное оборудование	3,5	2	7	0,4	12,53	0,85	0,62	5,01	2,80	1,74	3,294
Всего по ЦР 1-2	-	-	15	-	-	0,85	0,62	15,47	8,644	5,36	10,17
ЩРО-1											
Нагрузка помещения бизнес-инкубатора	2,2	1	2,2	0,6	10,53	0,95	0,33	2,11	1,32	0,43	1,389
Стиральная машина	2,2	1	2,2	0,3	11,11	0,9	0,48	1,12	0,66	0,32	0,733
Нагрузка офисных и административных помещений	0,4	20	8	0,5	13,52	0,9	0,48	6,76	4,00	1,94	4,444
Освещение цокольного этажа (аварийное освещение)	0,06	5	0,3	1	0,46	0,99	0,14	0,46	0,30	0,04	0,303
Освещение цокольного этажа (рабочее освещение)	0,02	120	2,4	1	4,29	0,85	0,62	4,29	2,40	1,49	2,824
Всего по ЩРО-1	-	-	15,1	-	-	0,9	0,49	14,68	8,68	4,22	9,652
Привод общеобменной вентиляции	2,2	1	2,2	1	11,76	0,85	0,62	11,76	2,20	1,36	2,588
ЩО1											
Освещение цокольного этажа (аварийное освещение)	0,06	10	0,6	1	0,92	0,99	0,14	0,92	0,60	0,09	0,606
Освещение цокольного этажа (рабочее освещение)	0,02	20	0,4	1	0,72	0,85	0,62	0,72	0,40	0,25	0,471
Всего по ЩО1	-	-	1	-	-	0,95	0,33	1,60	1	0,33	1,054
ЩО2											
Освещение цокольного этажа (аварийное освещение)	0,06	15	0,9	1	1,38	0,99	0,14	1,38	0,90	0,13	0,909

Продолжение таблицы 4

Наименование РУ	Нагрузка установленная							Нагрузка расчётная			
	P_n , кВт	n , шт	P_n сум, кВт	K_u	I_n , А	$\cos \varphi$	$tg \varphi$	I_p , А	P_p , кВт	Q_p , квар	S_p , кВА
Освещение цокольного этажа (рабочее освещение)	0,02	5	0,1	1	0,18	0,85	0,62	0,18	0,10	0,06	0,1
Бойлер котельной	2,2	1	2,2	0,6	10,53	0,95	0,33	6,32	1,32	0,43	1,389
Всего по ЩО2	-	-	3,2	-	-	0,97	0,27	3,65	2,32	0,62	2,402
ЩУН											
Циркуляционный двигатель котельной	2,2	1	2,2	0,5	3,94	0,85	0,62	1,97	1,10	0,68	1,294
Циркуляционный двигатель котельной	2,2	1	2,2	0,5	3,94	0,85	0,62	1,97	1,10	0,68	1,294
Котельная поддув	3,2	1	3,2	0,8	5,73	0,85	0,62	4,58	2,56	1,59	3,012
Всего по ЩУН	-	-	7,6	-	-	0,85	0,62	8,52	4,76	2,95	5,6
ЩУП											
Пожарный насос (авар. режим)	3,2	2	6,4	1	11,45	0,85	0,62	11,45	6,40	3,97	7,529
Питание второго этажа ЩР-К	-	-	73	-	113,31	0,98	0,20	95,00	62,00	12,59	63,27
Вентиляция второго этажа	-	-	5,7	-	10,20	0,85	0,62	6,26	3,50	2,17	4,118
Итого (нагрузка ВРУ-0,4 кВ)	-	-	240	-	-	0,93	0,38	269,20	165,40	62,94	177

Полученные результаты расчёта электрических нагрузок используются в работе далее.

2.2 Расчёт токов КЗ

Ток короткого замыкания рассчитывается в точках, где он будет наибольшим и наименьшим.

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 представлена на рисунке 8.

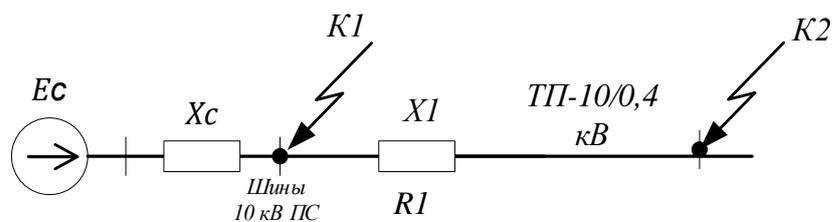


Рисунок 8 – Схема замещения участка сети 10 кВ

«Ток короткого замыкания на шинах РУ 10 кВ» [6] энергосистемы принимается равным $I_{кз} = 12,5$ кА (по данным энергосистемы).

Сопротивление энергосистемы [6]:

$$x_c = \frac{U_c}{\sqrt{3} \cdot I_{кз}}, \text{ Ом}, \quad (19)$$

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

Удельные сопротивления питающей кабельной линии:

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

«Активное и индуктивное сопротивление линий» [6]:

$$X_C = L_C \cdot X_{y\partial.C}, \text{ Ом}, \quad (20)$$

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

$$X_1 = L_1 \cdot X_{y\partial.1}, \text{ Ом}, \quad (21)$$

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

$$R_C = L_C \cdot R_{y\partial.C}, \text{ Ом}, \quad (22)$$

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

$$R_1 = L_1 \cdot R_{y\partial.1}, \text{ Ом}, \quad (23)$$

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

«Полное индуктивное и активное сопротивления до характерных точек КЗ.

До точки К1» [6]:

$$X_{\Sigma K1} = X_c, \text{ Ом}, \quad (24)$$

$$X_{\Sigma K1} = 0,922 \text{ Ом},$$

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

$$X_{\Sigma K2} = X_C + X_1, \text{ Ом}, \quad (25)$$

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

$$R_{\Sigma K2} = R_C + R_1, \text{ Ом}; \quad (26)$$

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

«Периодическая составляющая тока короткого замыкания» [6]:

$$I_{\text{ПО.К1}}^{(3)} = \frac{U_{\text{СРНН}}}{\sqrt{3} \cdot X_C}, \text{ кА}, \quad (27)$$

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

$$I_{\text{ПО.К2}}^{(3)} = \frac{U_{\text{СРНН}}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_{\Sigma \text{ТП}}^2 + X_{\Sigma \text{ТП}}^2}}, \text{ кА}, \quad (28)$$

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

«Постоянная затухания апериодической составляющей» [6]:

$$T_{aK1} = 0,03 \text{ с},$$

$$T_{aK2} = \frac{X_{\Sigma \text{ТП77}}}{\sqrt{3} \cdot R_{\Sigma \text{ТП77}}}, \text{ с}, \quad (29)$$

$$T_{ak2} = \frac{0,922}{314 \cdot 1,3} = 0,0022 \text{ с},$$

«Коэффициент затухания апериодической составляющей» [6]:

$$\lambda_{K1} = e^{\frac{-0,01}{T_{ak1}}}, \quad (30)$$

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

$$\lambda_{K2} = e^{\frac{-0,01}{T_{ak2}}}, \quad (31)$$

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

«Ударный ток короткого замыкания, кА» [6]:

$$i_{y\partial K1} = \sqrt{2} \cdot I_{\text{ПО.}K1}^{(3)} \cdot (1 + \lambda_{K1}), \text{ кА}, \quad (32)$$

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

$$i_{y\partial K2} = \sqrt{2} \cdot I_{\text{ПО.}K2}^{(3)} \cdot (1 + \lambda_{K2}), \text{ кА}, \quad (33)$$

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

«Значение тока двухфазного короткого замыкания определяется по формуле» [6]:

$$I_K^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_K^{(3)}, \text{ А}. \quad (34)$$

«Для расчётных точек» [6]:

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

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

Результаты расчета токов КЗ на стороне 10 кВ сети АДЦ 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» [6] ТП-10/0,4 кВ.

Схема замещения сети представлена на рисунке 9.

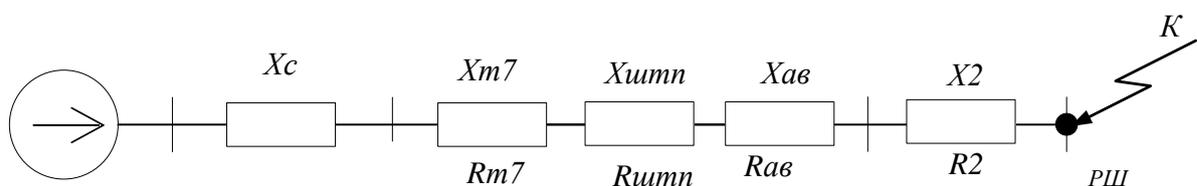


Рисунок 9 – Схема замещения сети 0,38 кВ

«Сопrotивление системы, приведенное к стороне 0,4 кВ» [6]:

$$X_c = \frac{U_{cp.нн}^2}{\sqrt{3} \cdot I_{кз} \cdot U_{cp.вн}^2}, \text{ Ом}, \quad (35)$$

где « $I_{кз}$ – ток КЗ на шинах 10 кВ ТП-10/0,4 кВ, кА» [6].

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

«Для ТП с трансформатором ТМГ-1000/10» [6]:

$$R_T = \frac{U_{ном}^2 \cdot \Delta P_{кз}}{S_{ном.т}^2}, \text{ Ом,} \quad (36)$$

$$R_T = \frac{0,4^2 \cdot 7,5}{1000^2} = 2,22 \text{ Ом,}$$

$$Z_T = \frac{U_{ном}^2 \cdot U_{к}}{S_{ном.т}}, \text{ Ом,} \quad (37)$$

$$Z_T = \frac{0,4^2 \cdot 0,055}{1000} = 14 \text{ Ом,}$$

$$X_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2}, \text{ Ом,} \quad (38)$$

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

«Переходное сопротивление 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 [5].

Суммарные сопротивления до точки КЗ» [6]:

$$X_{1сумм} = X_c + X_T + X_{ШТП} + X_{ав}, \text{ мОм,} \quad (39)$$

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

$$R_{1сумм} = R_T + R_{ШТП} + R_{ав}, \text{ мОм,} \quad (40)$$

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

«Ток трехфазного КЗ в начальный момент времени в расчётной точке К

(сеть 0,4 кВ)» [6]:

$$I_{\text{ПО.}}^{(3)} = \frac{U_{\text{СРНН}}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_{1\text{сумм}}^2 + X_{1\text{сумм}}^2}}, \text{ кА.} \quad (41)$$

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

$$T_{\text{аТП}} = \frac{X_{\Sigma}}{\sqrt{3} \cdot R_{\Sigma}}, \text{ с.} \quad (42)$$

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

$$\lambda_{\text{ТП}} = e^{\frac{-0,01}{T_{\text{а}}}}. \quad (43)$$

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

«Ударный ток определяется по выражению» [6]:

$$i_{\text{удК}} = \sqrt{2} \cdot I_{\text{ПО.К1}}^{(3)} \cdot (1 + \lambda_{\text{К1}}), \text{ кА.} \quad (44)$$

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

«Далее определяется ток однофазного КЗ» [6] у самого удаленного потребителя ТП.

Значит:

$$X_2 = 0,24 \cdot 0,0802 = 19,2 \text{ мОм}, \quad (45)$$

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

Суммарное сопротивление до самого удалённого приёмника, с учётом ранее рассчитанных параметров [6]:

$$X_{1\text{сумм.у}} = X_{1\text{сумм}} + X_2, \text{ мОм}, \quad (46)$$

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

$$R_{1\text{сумм.у}} = R_{1\text{сумм}} + R_2, \text{ мОм}. \quad (47)$$

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

Ток однофазного КЗ в начальный момент времени:

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

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

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

2.3 Выбор кабелей и коммутационной аппаратуры

Установлено, что замене подлежат все кабельные линии питающей и распределительной сети объекта исследования.

Исходя из принятой схемы системы электроснабжения АДЦ, в работе необходимо выбрать следующие виды сетей объекта реконструкции напряжением до 1 кВ:

- питающая сеть от РУ-0,4 кВ ТП-10/0,4 кВ г. Петрозаводска до ВРУ-0,4 кВ – выполняется пятижильными кабелями ВВГнг-LS (прокладка – в трубах в земле);
- питающая сеть от ВРУ-0,4 кВ до ШР и ШО – выполняется пятижильными кабелями ВВГнг-LS (прокладка – в трубах в бетонном полу);

- распределительная сеть от ШР и ШО до индивидуальных потребителей – выполняется трёхжильными кабелями ВВГнг-LS (прокладка – в трубах в бетонном полу).

Все три типа сетей предназначены для питания электроэнергией зданий и сооружений в пределах системы электроснабжения АДЦ. Каждая сеть имеет свою собственную конструкцию и способ прокладки кабелей, который оптимизирован для своего конкретного применения. Таким образом, выбор правильного типа сети для каждого применения гарантирует надёжное и эффективное электроснабжение.

Выбранные кабели ВВГнг-LS обладают множеством преимуществ, которые делают их идеальным выбором для использования в различных отраслях промышленности и системах электроснабжения гражданских сооружений [3].

Одним из важных преимуществ кабелей ВВГнг-LS является их низкий уровень горючести. Это означает, что они горят медленнее и выделяют меньше токсичных веществ при горении, чем обычные кабели. Это делает их более безопасными для использования в местах, где есть риск пожара (в частности, в СЭС АДЦ).

Кроме того, кабели ВВГнг-LS обладают высокой гибкостью, что позволяет им легко изгибаться и скручиваться в любом направлении без потери рабочих характеристик. Это делает их идеальным выбором для использования в местах, где требуется гибкость и подвижность, например, в труднодоступных местах помещений при поворотах трассы (в частности, в СЭС АДЦ) [3].

Кабели ВВГнг-LS изготавливаются из высококачественных материалов и проходят строгую проверку на прочность и надёжность. Это обеспечивает их длительный срок службы и надёжную работу в сложных условиях. Они также обладают высокой устойчивостью к внешним воздействиям, таким как механическое повреждение, ультрафиолетовое излучение, повышенная

температура и влажность. Это делает их подходящими для использования в различных средах и помещениях, где существует риск повреждения кабеля.

В целом, кабели ВВГнг-LS являются надежным и долговечным решением для использования в различных средах и помещениях как промышленных, так и гражданских сооружений, где требуется гибкость, безопасность и надежность. Их низкий уровень горючести делает их более безопасными для использования в местах, где есть риск пожара [18].

Поэтому выбор кабелей марки ВВГнг-LS для применения в системе электроснабжения АДЦ полностью обоснован [3].

Выбор сечений кабелей питающей и распределительной сети осуществляется по условию допустимого нагрева кабеля током нормального режима [7]:

$$I_{доп.} \geq I_{н.} = I_{р.} \cdot K_n, \quad (48)$$

где $I_{доп.}$ – допустимый ток кабеля с учётом его прокладки, А.

$I_{р.}$ – расчетный ток, А;

« K_n – коэффициент поправки, учитывающий условия прокладки»

[3]

кабелей ($K_n=1$).

Для кабелей питающей сети АДЦ применяется резервирование, следовательно, необходимо их проверить по условию допустимого нагрева кабеля током послеаварийного режима [7]:

$$I_{доп.} \geq I_{ав.} = 1,4 \cdot I_{н.}. \quad (49)$$

Проводится выбор сечения и марки кабеля питающей сети от РУ-0,4 кВ ТП-10/0,4 кВ г. Петрозаводска до ВРУ-0,4 кВ. Данная сеть выполняется пятижильными кабелями ВВГнг-LS (прокладка в трубах в земле).

Расчётный ток ВРУ-0,4 кВ составляет 269,2 А.

Согласно принятым схемным решениям, во ВРУ-0,4 кВ применяется два независимых ввода, следовательно, на каждый ввод приходится половина расчётной нагрузки [5]:

$$I_{p.} = 0,5 \cdot I_{p.макс}, А. \quad (50)$$

Значит:

$$I_{p.} = 0,5 \cdot 269,2 = 134,6 А.$$

Для питания ВРУ-0,4 кВ от шин РУ-0,4 кВ ТП-10/0,4 кВ г. Петрозаводска, принимается кабель марки ВВГнг-LS (5×35) с допустимым током 158 А при прокладке в земле.

Проверка кабеля в нормальном режиме работы выполняется:

$$158 А \geq 134,6 \cdot 1 = 134,6 А.$$

Однако проверка кабеля в послеаварийном режиме работы не выполняется:

$$158 А \leq 134,6 \cdot 1,4 = 188,4 А.$$

Выбирается кабель большего сечения марки ВВГнг-LS (5×50) с допустимым током 190 А при прокладке в земле.

Условия проверки для данного кабеля выполняются:

$$190 А \geq 134,6 \cdot 1 = 134,6 А,$$

$$190 А \geq 134,6 \cdot 1,4 = 188,4 А.$$

Таким образом, окончательно выбираются для питания ВРУ-0,4 кВ АДЦ от шин РУ-0,4 кВ ТП-10/0,4 кВ г. Петрозаводска, два кабеля марки ВВГнг-LS (5×50) с допустимым током 190 А при прокладке в земле [3].

Аналогично определены сечения кабелей питающей сети АДЦ напряжением 0,38/0,22 кВ.

Принимается по условиям селективности при защите автоматическими выключателями, для питающей сети минимальное сечение кабеля, равное 4 мм², то есть кабель ВВГнг-LS (5×4).

Результаты выбора остальных кабелей питающей сети АДЦ представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Результаты выбора кабелей питающей сети АДЦ

Наименование линии	I_p , А	$I_{ав}$, А	Параметры кабеля	
			Марка	$I_{доп}$, А
РУ-0,4 кВ ТП-10/0,4 кВ – ВРУ-0,4 кВ	134,6	188,4	ВВГнг-LS (5×50)	190
ВРУ-0,4 кВ – ЩР 1-3	11,43	16,0	ВВГнг-LS (5×4)	32
ВРУ-0,4 кВ – ЩР 1-6	11,86	16,6	ВВГнг-LS (5×4)	32
ВРУ-0,4 кВ – ЩР 1-4	8,00	11,2	ВВГнг-LS (5×4)	32
ВРУ-0,4 кВ – ЩР 1-1	7,46	10,4	ВВГнг-LS (5×4)	32
ВРУ-0,4 кВ – ЩР 1-2	15,47	21,7	ВВГнг-LS (5×4)	32
ВРУ-0,4 кВ – ЩРО-1	14,68	20,6	ВВГнг-LS (5×4)	32
ВРУ-0,4 кВ – ЩО1	1,60	2,2	ВВГнг-LS (5×4)	32
ВРУ-0,4 кВ – ЩО2	3,65	5,1	ВВГнг-LS (5×4)	32
ВРУ-0,4 кВ – ЩУН	8,52	11,9	ВВГнг-LS (5×4)	32
ВРУ-0,4 кВ – ЩУП	11,45	16,0	ВВГнг-LS (5×4)	32
ВРУ-0,4 кВ – ЩР-К	95,00	133,0	ВВГнг-LS (5×35)	158

Аналогично определены сечения кабелей распределительной сети АДЦ напряжением 0,38/0,22 кВ.

Полученные результаты выбора кабелей распределительной сети АДЦ представлены в таблице 7.

При этом все потребители распределительной сети – однофазные, поэтому принимаются трёхжильные кабели (фазный проводник, нулевой проводник и проводник заземления).

Таблица 7 – Результаты выбора кабелей распределительной сети АДЦ

Наименование потребителя	I_p , А	Параметры кабеля	
		Марка	$I_{доп}$, А
Выставочный зал			
Дымовые машины со световым эффектом	0,36	ВВГнг-LS (3×1,5)	27
Дымовые машины со световым эффектом	0,36	ВВГнг-LS (3×1,5)	27
Усилитель	0,68	ВВГнг-LS (3×1,5)	27
Проектор	5,70	ВВГнг-LS (3×1,5)	27
Проектор	5,70	ВВГнг-LS (3×1,5)	27
Вспомогательное оборудование	2,27	ВВГнг-LS (3×1,5)	27
Галерея-атриум	1,91	ВВГнг-LS (3×1,5)	27
Освещение фойе первого этажа	3,42	ВВГнг-LS (3×1,5)	27
Специализированное освещение выставочного зала и конференц-зала			
Световой карниз (4 линейки в двух залах)	5,31	ВВГнг-LS (3×1,5)	27
Потолочные светильники	1,10	ВВГнг-LS (3×1,5)	27
Прожекторы дежурного освещения	2,75	ВВГнг-LS (3×1,5)	27
Первый этаж			
Вентиляция туалетов	5,35	ВВГнг-LS (3×1,5)	27
Рукосушитель	3,44	ВВГнг-LS (3×1,5)	27
Оборудование буфета	2,88	ВВГнг-LS (3×1,5)	27
Терминалы самообслуживания	5,78	ВВГнг-LS (3×1,5)	27
Освещение вестибюля	4,41	ВВГнг-LS (3×1,5)	27
Освещение фойе	8,82	ВВГнг-LS (3×1,5)	27
Освещение галереи-атриума	0,86	ВВГнг-LS (3×1,5)	27
Освещение туалетов	2,20	ВВГнг-LS (3×1,5)	27
Конференц-зал			
Освещение	6,55	ВВГнг-LS (3×1,5)	27
Кондиционирование	4,72	ВВГнг-LS (3×1,5)	27
Тепловая завеса	10,59	ВВГнг-LS (3×1,5)	27
Проекторное оборудование	5,01	ВВГнг-LS (3×1,5)	27
Коридор			
Освещение	3,08	ВВГнг-LS (3×1,5)	27
Кондиционирование	7,06	ВВГнг-LS (3×1,5)	27
Тепловая завеса	10,59	ВВГнг-LS (3×1,5)	27
Уличное освещение			
Козырёк у входа	2,02	ВВГнг-LS (3×1,5)	27
Освещение плакатов и рекламы	2,77	ВВГнг-LS (3×1,5)	27
Цокольный этаж			
Бойлер котельной	2,11	ВВГнг-LS (3×1,5)	27
Нагрузка помещения бизнес-инкубатора	2,11	ВВГнг-LS (3×1,5)	27
Стиральная машина	1,12	ВВГнг-LS (3×1,5)	27
Привод общеобменной вентиляции	11,76	ВВГнг-LS (3×1,5)	27
Нагрузка офисных и административных помещений	6,76	ВВГнг-LS (3×1,5)	27
Освещение цокольного этажа (аварийное освещение)	1,84	ВВГнг-LS (3×1,5)	27
Освещение цокольного этажа (рабочее освещение)	5,73	ВВГнг-LS (3×1,5)	27

Продолжение таблицы 7

Наименование потребителя	I_p, A	Параметры кабеля	
		Марка	$I_{доп}, A$
Циркуляционный двигатель котельной	1,97	ВВГнг-LS (3×1,5)	27
Циркуляционный двигатель котельной	1,97	ВВГнг-LS (3×1,5)	27
Котельная поддув	4,58	ВВГнг-LS (3×1,5)	27
Пожарный насос (авар. режим)	11,45	ВВГнг-LS (3×1,5)	27
Вентиляция второго этажа	6,26	ВВГнг-LS (3×1,5)	27
Пожарно-охранная сигнализация	1,52	ВВГнг-LS (3×1,5)	27

Таким образом, для питания всех потребителей распределительной сети 0,38/0,22 кВ АДЦ, приняты кабели марки ВВГнг-LS (3×1,5) с допустимым током 27 А, при прокладке в трубах в бетонном полу [3].

Далее необходимо провести выбор и проверку новых электрических аппаратов для обеспечения защиты и коммутации электрической сети 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.

Для защиты и коммутации питающей сети выбираются трёхфазные трёхполюсные автоматические выключатели марки ВА88 [2].

Для аналогичной задачи в распределительной сети выбираются однофазные однополюсные выключатели марки АВВ S201 [4].

Преимущества использования таких современных автоматических выключателей для защиты электрической сети 0,38/0,22 кВ АДЦ включают:

- быстрое реагирование: автоматические выключатели способны быстро отключать питание в случае возникновения неисправностей или коротких замыканий, предотвращая дальнейшее повреждение электрооборудования и уменьшая риск пожара;
- селективность (избирательность) защиты: автоматы могут быть настроены на селективное отключение только той части

электрической сети, где возникло повреждение, не затрагивая работу остальной части сети, что позволяет минимизировать время простоя и уменьшить потери электроэнергии;

- надежность: автоматические выключатели проверяются на прочность и надежность в соответствии с международными стандартами, что гарантирует их долгий срок службы и высокий уровень защиты электрической сети;
- удобство в эксплуатации: современные автоматы могут быть оснащены дистанционным управлением и контролем, что позволяет управлять ими из центрального пункта управления и мониторинга, упрощая эксплуатацию и обслуживание электрооборудования;
- экономия: автоматические выключатели помогают снизить расходы на обслуживание электрической сети, так как они предотвращают повреждения оборудования и минимизируют время простоя.

Таким образом, использование современных автоматических выключателей для защиты электрической сети 0,38/0,22 кВ АДЦ обеспечивает высокий уровень безопасности и надежности электроснабжения, улучшает качество обслуживания и помогает сократить расходы на эксплуатацию электрооборудования.

Приводится методика выбора выключателей.

Ток срабатывания теплового расцепителя автоматического выключателя по формуле [19]:

$$I_{тр(расц.)} \geq 1,2 \cdot I_i, A. \quad (51)$$

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

Условия выбора автоматических выключателей [19]:

$$I_{тр} \geq I_{тр(расц.)}, A. \quad (52)$$

$$I_{тр} \leq I_{нав}, A. \quad (53)$$

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 [19].

Проводится выбор автомата для применения на линии «РУ-0,4 кВ ТП-10/0,4 кВ – ВРУ-0,4 кВ».

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

$$I_{тр(расц.)} \geq 1,2 \cdot 134,6 = 161,52 A.$$

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

$$I_{тр(расц.)} \geq 1,2 \cdot 188,4 = 226,08 A.$$

Второе значение тока – больше, следовательно, выбор проводится по нему. Принимается автомат ВА88-37 с $I_{ном.а} = 250 A$, $I_{ном.р} = 250 A$ [2].

Условия проверок выполняются:

$$250 A = 250 A. \quad (54)$$

$$188,4 A \leq 250 A. \quad (55)$$

Окончательно принимается выбранный ранее автомат марки ВА88-37 с $I_{ном.а} = 250 A$, $I_{ном.р} = 250 A$ [2] для установки на данной линии. Результаты выбора автоматических выключателей для защиты и коммутации питающей сети АДЦ представлены в таблице 8.

Таблица 8 – Результаты выбора автоматических выключателей для защиты и коммутации питающей сети АДЦ

Наименование линии	I_p , А	$I_{ав}$, А	Параметры автомата		
			Марка	$I_{ном.а}$, А	$I_{ном.р}$, А
РУ-0,4 кВ ТП-10/0,4 кВ – ВРУ-0,4 кВ	134,6	188,4	ВА88-37	250	200
ВРУ-0,4 кВ – ЩР 1-3	11,43	16,0	ВА88-33	25	25
ВРУ-0,4 кВ – ЩР 1-6	11,86	16,6	ВА88-33	25	25
ВРУ-0,4 кВ – ЩР 1-4	8,00	11,2	ВА88-33	16	16
ВРУ-0,4 кВ – ЩР 1-1	7,46	10,4	ВА88-33	16	16
ВРУ-0,4 кВ – ЩР 1-2	15,47	21,7	ВА88-33	25	25
ВРУ-0,4 кВ – ЩРО-1	14,68	20,6	ВА88-33	25	25
ВРУ-0,4 кВ – ЩО1	1,60	2,2	ВА88-33	16	16
ВРУ-0,4 кВ – ЩО2	3,65	5,1	ВА88-33	16	16
ВРУ-0,4 кВ – ЩУН	8,52	11,9	ВА88-33	16	16
ВРУ-0,4 кВ – ЩУП	11,45	16,0	ВА88-33	25	25
ВРУ-0,4 кВ – ЩР-К	95,00	133,0	ВА88-33	160	160

Результаты выбора автоматических выключателей для защиты и коммутации распределительной сети АДЦ представлены в таблице 8.

Таблица 8 – Результаты выбора автоматических выключателей для защиты и коммутации распределительной сети АДЦ

Наименование потребителя	I_p , А	Параметры автомата		
		Марка	$I_{ном.а}$, А	$I_{ном.р}$, А
Выставочный зал				
Дымовые машины со световым эффектом	0,36	S201 C10	10	10
Дымовые машины со световым эффектом	0,36	S201 C10	10	10
Усилитель	0,68	S201 C10	10	10
Проектор	5,70	S201 C10	10	10
Проектор	5,70	S201 C10	10	10
Вспомогательное оборудование	2,27	S201 C10	10	10
Галерея-атриум	1,91	S201 C10	10	10
Освещение фойе первого этажа	3,42	S201 C10	10	10
Специализированное освещение выставочного зала и конференц-зала				
Световой карниз (4 линейки в двух залах)	5,31	S201 C10	10	10
Потолочные светильники	1,10	S201 C10	10	10
Прожекторы дежурного освещения	2,75	S201 C10	10	10
Первый этаж				
Вентиляция туалетов	5,35	S201 C10	10	10
Рукосушитель	3,44	S201 C10	10	10
Оборудование буфета	2,88	S201 C10	10	10
Терминалы самообслуживания	5,78	S201 C10	10	10
Освещение кассового вестибюля	4,41	S201 C10	10	10
Освещение фойе	8,82	S201 C10	10	10
Освещение галереи-атриума	0,86	S201 C10	10	10

Продолжение таблицы 8

Наименование потребителя	I_p, A	Параметры автомата		
		Марка	$I_{ном.а}, A$	$I_{ном.р}, A$
Освещение туалетов	2,20	S201 C10	10	10
Конференц-зал				
Освещение	6,55	S201 C10	10	10
Кондиционирование	4,72	S201 C10	10	10
Тепловая завеса	10,59	S201 C16	16	16
Проекторное оборудование	5,01	S201 C10	10	10
Коридор				
Освещение	3,08	S201 C10	10	10
Кондиционирование	7,06	S201 C10	10	10
Тепловая завеса	10,59	S201 C16	16	16
Уличное освещение				
Козырёк у входа	2,02	S201 C10	10	10
Освещение плакатов и рекламы	2,77	S201 C10	10	10
Цокольный этаж				
Бойлер котельной	2,11	S201 C10	10	10
Нагрузка помещения бизнес-инкубатора	2,11	S201 C10	10	10
Стиральная машина	1,12	S201 C10	10	10
Привод общеобменной вентиляции	11,76	S201 C10	10	10
Нагрузка офисных и административных помещений	6,76	S201 C10	10	10
Освещение цокольного этажа (аварийное освещение)	1,84	S201 C10	10	10
Освещение цокольного этажа (рабочее освещение)	5,73	S201 C10	10	10
Циркуляционный двигатель котельной	1,97	S201 C10	10	10
Циркуляционный двигатель котельной	1,97	S201 C10	10	10
Котельная поддув	4,58	S201 C10	10	10
Пожарный насос (авар. режим)	11,45	S201 C10	10	10
Вентиляция второго этажа	6,26	S201 C10	10	10
Пожарно-охранная сигнализация	1,52	S201 C10	10	10

Все выбранные автоматы для защиты питающей и распределительной сети показаны в графической части работы.

Выводы по разделу.

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

Отдельное внимание уделено детальной разработке осветительной сети выставочного зала и конференц-зала (как наиболее важных помещений объекта проектирования).

Проведён расчёт электрических нагрузок индивидуальных

потребителей АДЦ, а также групповых нагрузок распределительных шкафов объекта проектирования. Также определена суммарная нагрузка ВРУ-0,4 кВ АДЦ.

Рассчитаны токи трёхфазного, двухфазного и ударного токов КЗ в сети 10 кВ и 0,4 кВ.

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

Полученные результаты используются в работе далее.

Исходя из принятой схемы системы электроснабжения АДЦ, с учётом требуемой модернизации сетей и оборудования, в работе выбраны и проверены следующие виды сетей объекта напряжением до 1 кВ:

- питающая сеть от РУ-0,4 кВ ТП-10/0,4 кВ г. Петрозаводска до ВРУ-0,4 кВ – выполняется двумя новыми пятижильными кабелями ВВГнг-LS (5×50), (прокладка – в трубах в земле);
- питающая сеть от ВРУ-0,4 кВ до ШР и ШО – выполняется новыми пятижильными кабелями ВВГнг-LS (5×4) – десять линий и ВВГнг-LS (5×35) – одна линия, прокладка – в трубах в бетонном полу;
- распределительная сеть от ШР и ШО до индивидуальных потребителей – выполняется новыми трёхжильными кабелями ВВГнг-LS (3×1,5), прокладка – в трубах в бетонном полу.

Установлено, что выбранные силовые кабели марки ВВГнг-LS 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 выбраны новые трёхфазные трёхполюсные автоматические выключатели марки ВА88.

Для аналогичной задачи в распределительной сети выбраны новые однофазные однополюсные выключатели марки АВВ S201.

3 Разработка системы учёта и контроля электроэнергии

Проводится выбор системы учёта и контроля электроэнергии в системе электроснабжения АДЦ.

Эффективное управление энергетическими ресурсами является одним из ключевых факторов успешного функционирования административно-деловых центров (АДЦ).

В связи с этим, актуальной задачей на данном объекте является разработка системы учёта и контроля потребления электроэнергии, способной обеспечить оптимальное использование энергетических ресурсов и снизить эксплуатационные расходы [1].

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 [1].

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 [1].

В работе рекомендуется использовать автоматизированные информационно-измерительные системы коммерческого учета электроэнергии (АИИСКУЭ) с трёхфазным многотарифным электронным счетчиком Меркурий-234 ARTM-03 РВ.Г 2хRS485, 10 А [15]. Такая система отвечает всем требуемым параметрам и обеспечивает высокую точность измерения, надежность и функциональность.

Данный счетчик обладает рядом преимуществ, таких как точность и широкий диапазон измерений, возможность подключения к системе дистанционного сбора данных, а также простота установки и обслуживания.

Конструктивное выполнение и внешний вид трехфазного многотарифного счётчика с ЖКИ марки Меркурий-234 ARTM-03 P.B.G 2xRS485, 10 А представлен на рисунке 10.



Рисунок 10 – Конструктивное выполнение и внешний вид трехфазного многотарифного счётчика с ЖКИ марки Меркурий-234 ARTM-03 P.B.G 2xRS485, 10 А

АИИСКУЭ с электронным счетчиком Меркурий-230 ART PCIGN 5-7,5А 380/220 В «имеет существенные преимущества по сравнению с другими системами контроля и учета электроэнергии:

- высокая точность измерения: благодаря использованию современных технологий измерения и обработки данных, счетчик Меркурий-230 обеспечивает высокую точность измерения электроэнергии, что позволяет более точно [15] отслеживать потребление электроэнергии и выявлять любые неполадки или излишние расходы;

- широкий диапазон измерений: счетчик способен измерять потребление электроэнергии в диапазоне от 5 до 7,5 А, что делает его пригодным для использования в различных типах потребительских установок;
- надежность и долговечность: электронный счетчик Меркурий-230 изготовлен из высококачественных материалов и имеет высокую степень защиты от внешних воздействий, что обеспечивает надежную работу в течение длительного периода времени;
- возможность подключения к системе дистанционного сбора данных: благодаря наличию интерфейса RS-485, устройство может быть подключено к системе дистанционного сбора данных, что позволяет автоматизировать сбор и обработку информации о потреблении электроэнергии;
- простота установки и обслуживания: компактные размеры и простая конструкция электронного счетчика Меркурий-230 облегчают его установку и обслуживание.

Таким образом, использование АИИСКУЭ с трёхфазным многотарифным электронным счетчиком Меркурий-234 ARTM-03 РВ.Г 2хRS485, 10 А обеспечивает высокую точность измерения, надежность и гибкость в использовании, что делает его идеальным выбором в качестве системы коммерческого учета электроэнергии в СЭС АДЦ.

Выводы по разделу.

Для применения в системе электроснабжения АДЦ предлагается применить систему АИИСКУЭ с трёхфазным многотарифным электронным счетчиком Меркурий-234 ARTM-03 РВ.Г 2хRS485, 10 А, которая обеспечивает высокую точность измерения, надежность и гибкость в использовании, что делает его идеальным выбором в качестве системы коммерческого учета электроэнергии в СЭС объекта исследования. Кроме того, применение такой системы позволяет оптимизировать энергопотребление и ликвидировать коммерческие потери электроэнергии.

Заключение

В работе проведена реконструкция системы электроснабжения административно-делового центра г. Петрозаводск. Данная реконструкция обусловлена несоответствием установленным нормам по качеству и надёжности, схемы электрических соединений питающей сети объекта исследования.

Проведён анализ исходных технических данных существующей системы электроснабжения административно-делового центра г. Петрозаводск.

Установлено, что АДЦ состоит из цокольного и первого этажа. На каждом из них располагается свои помещения с оборудованием и сетями, которые выполняют свою технологическую роль на объекте. Приведены исходные фактические нагрузки основного оборудования первого и цокольного этажей АДЦ. Также установлено, что на объекте имеется дополнительная транзитная нагрузка второго этажа здания (в работе детально не рассматривается, так как к АДЦ не относится).

Внешнее электроснабжение АДЦ осуществляется от действующей трансформаторной подстанции ТП-10/0,4 кВ г. Петрозаводска, кабельной линией с применением одного силового кабеля напряжением 0,4 кВ марки АВВГ (3×50+1×25). Данная линия питает ВРУ-0,4 кВ АДЦ, которое в исходной схеме объекта имеет один ввод. Определено, что такая схема внешнего электроснабжения не соответствует требованиям, предъявляемым к объектам второй категории надёжности нормативными документами.

Таким образом, внешнее электроснабжение АДЦ предложено осуществляется от действующей трансформаторной подстанции ТП-10/0,4 кВ г. Петрозаводска, кабельной линией с применением двух силовых кабелей напряжением 10 кВ. Следовательно, ВРУ-0,4 кВ АДЦ после реконструкции будет иметь два ввода. Такая схема внешнего электроснабжения соответствует требованиям, предъявляемым к объектам второй категории

надёжности нормативными документами. Таким образом, обосновано, что в работе требуется реконструкция схемы питающей сети 0,4 кВ АДЦ. Данное мероприятие определено в качестве основного в работе.

Кроме того, в работе установлено, что помимо реконструкции схемы объекта исследования, также требуется внедрить мероприятия по модернизацию следующих элементов СЭС АДЦ:

- питающей кабельной линии напряжением 0,4 кВ, которая выполнена устаревшим и изношенным кабелем марки АВВГ (3×50+1×25);
- распределительной сети 0,4 кВ, которая также выполнена устаревшими кабелями марки АВВГ, требующих замены вследствие морального и физического износа;
- автоматических выключателей марки АЕ различных типонаименований, применяющихся для защиты оборудования, а также кабелей питающей и распределительной сети объекта, требующих замены вследствие устаревания, износа и недостаточной надёжности и функциональности.

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

Отдельное внимание уделено детальной разработке осветительной сети выставочного зала и конференц-зала (как наиболее важных помещений объекта проектирования). Проведён расчёт электрических нагрузок индивидуальных потребителей АДЦ, а также групповых нагрузок распределительных шкафов объекта проектирования. Также определена суммарная нагрузка ВРУ-0,4 кВ АДЦ.

Рассчитаны токи трёхфазного, двухфазного и ударного токов КЗ в сети 10 кВ и 0,4 кВ. Также определён однофазный ток КЗ к наиболее удалённому потребителю в сети 0,4 кВ.

Исходя из принятой схемы системы электроснабжения АДЦ, с учётом требуемой модернизации сетей и оборудования, в работе выбраны и проверены следующие виды сетей объекта напряжением до 1 кВ:

- питающая сеть от РУ-0,4 кВ ТП-10/0,4 кВ г. Петрозаводска до ВРУ-0,4 кВ – выполняется двумя новыми пятижильными кабелями ВВГнг-LS (5×50), (прокладка – в трубах в земле);
- питающая сеть от ВРУ-0,4 кВ до ШР и ШО – выполняется новыми пятижильными кабелями ВВГнг-LS (5×4) – десять линий и ВВГнг-LS (5×35) – одна линия, прокладка – в трубах в бетонном полу;
- распределительная сеть от ШР и ШО до индивидуальных потребителей – выполняется новыми трёхжильными кабелями ВВГнг-LS (3×1,5), прокладка – в трубах в бетонном полу.

Установлено, что выбранные кабели марки ВВГнг-LS имеют ряд 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 выбраны новые трёхфазные трёхполюсные автоматические выключатели марки ВА88. Для аналогичной задачи в распределительной сети выбраны новые однофазные однополюсные выключатели марки АВВ S201.

Для применения в системе электроснабжения АДЦ предлагается применить систему АИИСКУЭ с трёхфазным многотарифным электронным счетчиком Меркурий-234 ARTM-03 РВ.Г 2хRS485, 10 А, которая обеспечивает высокую точность измерения, надежность и гибкость в использовании, что делает его идеальным выбором в качестве системы коммерческого учета электроэнергии в СЭС объекта исследования. Кроме того, применение такой системы позволяет оптимизировать энергопотребление и ликвидировать коммерческие потери электроэнергии.

Таким образом, реконструированная и модернизированная система электроснабжения АДЦ отвечает требованиям надёжности, экономичности, а также безопасности.

Список используемых источников

1. АСКУЭ: виды, принцип работы, плюсы и минусы [Электронный ресурс]: URL: <https://www.panpwr.ru/blog/tpost/mv3u92ijau-askue-vidi-printsip-raboti-plyusi-i-minu> (дата обращения: 30.03.2024).
2. Выключатели автоматические ВА. [Электронный ресурс]: URL: <https://www.elektrokontaktor.ru/produkciya/vyklyuchateli-avtomaticheskie-va> (дата обращения: 30.03.2024).
3. Длительно допустимый ток кабеля ВВГнг LS. [Электронный ресурс]: URL: <https://ru.pinterest.com/pin/463870830372952509/> (дата обращения: 30.03.2024).
4. Киреева Э.В. Электроснабжение и электрооборудование организаций и учреждений. М.: Кнорус, 2019. 236 с.
5. Конюхова Е.А. Электроснабжение объектов. М.: Академия, 2021. 400 с.
6. Куксин А.В. Электроснабжение промышленных предприятий. Учебное пособие. М.: Инфра-Инженерия, 2021. 156 с.
7. Немировский А.Е. Электрооборудование электрических сетей, станций и подстанций. М.: Инфра-Инженерия, 2020. 174 с.
8. Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок (Приказ от 15 декабря 2020 г. № 903н / Приказ от 29 апреля 2022 г. № 279н). Изд-во Мини-Тайп, 2023. 216 с.
9. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. Изд-во ДЕАН, 2022. 192 с.
10. Правила устройства электроустановок. 7-е издание. Изд-во ЦентрМаг, 2022. 584 с.
11. Сибикин Ю.Д. Пособие к курсовому и дипломному проектированию электроснабжения промышленных, сельскохозяйственных и городских объектов. Учебное пособие. М.: Форум, 2021. 383 с.
12. Сибикин Ю.Д. Электроснабжение промышленных и гражданских

зданий. Учебное пособие. М.: Форум, Инфра-М, 2022. 406 с.

13. Сибикин Ю.Д., Сибикин М.Ю., Яшков В.А. Электроснабжение промышленных предприятий и установок. Учебное пособие. М.: Форум, Инфра-М, 2022. 365 с.

14. СП 440.1325800.2018 Проектирование естественного и искусственного освещения. [Электронный ресурс]: URL: <https://docs.cntd.ru/document/554819713> (дата обращения: 30.03.2024).

15. Счетчик электроэнергии Инкотекс Меркурий 234 ARTM-03 P.B.G 2xRS485, трехфазный, многотарифный, ЖКИ, 10 А. [Электронный ресурс]: URL: https://elektrikadeshevo.ru/catalog/schetchiki-ucheta-elektroenergii/schetchik_elektroenergii_trekhfaznyy_mnogotarifnyy_merkuriy_234_art_03_pb_g_optoport_2khrs485_zhki/ (дата обращения: 30.03.2024).

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/ (дата обращения: 30.03.2024).

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: 30.03.2024).

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.