

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)

13.04.02 Электроэнергетика и электротехника
(код и наименование направления подготовки)

Энергосбережение и энергоэффективность
(направленность (профиль))

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)

на тему Применение системы единого энергетического кольца в условиях одного населенного пункта

Обучающийся

Н.С. Нестеров

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Научный

к.т.н., В.С. Романов

руководитель

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

Тольятти 2023

Содержание

Введение.....	3
1. Особенности становления и развития энергетической системы в России.....	7
1.1. Становление энергетической системы в России.....	7
1.2. Применение, задачи, проблемы и возможности развития энергетического кольца в России.....	10
2. Энергетическое кольцо, как факт оптимизации потребления электроэнергии в условиях одного города.....	19
2.1. Возможность применения энергетического кольца на микроуровне на примере одной организации.....	19
2.2. Возможность применения энергетического кольца в отдельном населенном пункте на примере г. Благовещенска Амурской области.....	34
Заключение.....	60
Список используемой литературы.....	66
Приложение А Схема электроснабжения предприятия и его объектов.....	74
Приложение Б Схема модернизации электроснабжения предприятия и подконтрольных субъектов.....	75
Приложение В Схема центральных подстанций города, которые действует на данный момент.....	76
Приложение Г Линейная схема подстанций города.....	77
Приложение Д Разработанная линейная схема подстанций города.....	78
Приложение Е Типовая система электроснабжения различных объектов...	79

Введение

Актуальность работы. В условиях развития современных технологий, а также развития энергетических систем остро стоит вопрос оснащения энергией городов, областей и стран. Помимо вопроса оснащения эклектической энергией населенных пунктов не менее остро стоит вопрос сохранения этой энергии в чрезвычайных и аварийных ситуациях.

Как нам известно, в условиях страны действует так называемое «энергетическое кольцо», т.е. в условиях непредвиденной ситуации, когда одна гидроэлектростанция/атомная станция не справляется с нагрузкой по оснащению энергией и подключаются дополнительные резервы, т.е. дополнительные гидроэлектростанция или атомная станция. Но действует ли данная схема оснащения в более малых масштабах?

Если представить, что «энергетическое кольцо» применили в более малых масштабах, чем страна, сколько проблем по оснащению электричеством решило бы применение данной схемы.

Так при отключении одного района города и при отключении одной подстанции с условием применения «энергетического кольца» можно было бы избежать, таких проблем как отсутствие электричества на несколько часов или дней. Можно предположить, что в случае аварийного отключения одной из подстанций, нагрузка по оснащению определенной территории распределится на ближайшие подстанции, таким образом обеспечится оснащение электроэнергией территории, попавшей в зону отключения электроэнергии.

Изучение вопроса создания единой энергетической системы отдельного населенного пункта является актуальной, т.к. данная система может позволить расширить возможности по обеспечению электроэнергией населения, основательно и всесторонне разобрать проблему возникновения аварийной ситуации на одной подстанции города и применить меры по её устранению в более приемлемый срок.

Объектом исследования выступило оснащение электроэнергией отдельного населенного пункта.

Предметом исследования является энергетическая система отдельного населенного пункта.

Цель исследования – изучить ключевые аспекты применения энергетического кольца в отдельном населенном пункте.

Задачи исследования:

- изучить становление энергетической системы в России;
- исследовать применение энергетического кольца в условиях страны;
- проанализировать приоритетные задачи, проблемы и возможности развития энергетического кольца в стране;
- изучить возможность принципа применения энергетического кольца на микроуровне на примере одной организации;
- исследовать возможность применения энергетического кольца в отдельном населенном пункте на примере г. Благовещенска Амурской области;
- выявить приоритетные направления развития единого энергетического кольца.

Обзор исследований по теме. Анализ нормативно-правовых документов: Федерального закона Российской Федерации от 26 марта 2003 г. № 35-ФЗ «Об электроэнергетике» [45], ГОСТ Р 58670-2019 «Единая энергетическая система и изолированно работающие энергосистемы. Планирование развития энергосистем. Расчеты электроэнергетических режимов и определение технических решений при перспективном развитии энергосистем. Нормы и требования» [11], Методические рекомендаций по проектированию развития энергосистем [22], позволяют выявить основные тенденции развития энергетических систем, вопросы урегулирования проблемы оснащения электроэнергией населения.

Изучены сведения о перебоях в электроэнергии г. Благовещенска Амурской области в 2021 г., а именно: материалы, размещенные в

электронном периодическом издании «Дальневосточное информационное агентство «Порт Амур» [13] и материалы информационных агентств «AMUR.LIFE» [54] и «ТАСС» [43]. Анализ сведений о перебоях электроэнергии в 2021 году позволил определить потребность в создании энергетического кольца в населенном пункте.

Изучением вопроса создания единой энергетической системы России и определением преимуществ реализации этой системы занимались В.А. Баринов, А.З. Гамм, Ю.Н. Кучеров [1], М.И. Кузнецов [19], А.Ф. Дьяков [14, 16], В.В. Жуков, Б. К. Максимов [15], В.В. Молодюк [21] и др.

Методы исследования: В ходе работы были выявлены и обобщены проблемы создания энергетического кольца в отдельном населенном пункте.

При подготовке работы использовался метод исторического исследования. Были изучены работы авторов по проблеме оснащения электроэнергией населения, а также научные труды освещающие вопросы электроэнергетики.

В ходе исследования были изучены и проанализированы нормативно-правовые акты Российской Федерации, субъектов Российской Федерации.

В рамках работы был применен метод статистики и математического анализа, а именно: были рассчитаны варианты применения энергетического кольца в отдельном населенном пункте, его влияние на энергетическую ситуацию населенного пункта.

Научная новизна работы заключается в том, что в настоящее время недостаточно изучена проблема применения единого энергетического кольца для отдельного населенного пункта. Изучение законодательных актов и нормативно-правовых документов позволяет определить политику государства в отношении энергетических систем. Стоит отметить, что довольно часто происходит проблемы с перебоем электроэнергии в отдельных районах населенного пункта, а применение энергетического кольца позволит снизить нагрузку на электроподстанции, а также позволит взаимозаменять (резервировать) электроподстанции.

Апробация работы:

- Н.С. Нестеров Этапы становления энергетической системы России // Процветание науки 2022. – № 5 (11). – М., Изд. «Умы современности», 2022.
- Н.С. Нестеров Создание отдельного энергетического кольца в определенном, отдельном населенном пункте // АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ОБЩЕСТВА, НАУКИ И ОБРАЗОВАНИЯ: сборник статей Международной научно-практической конференции. – Пенза: МЦНС «Наука и Просвещение». – 2022.
- Н.С. Нестеров Особенности применения технологии энергетического кольца на микроуровне // Интернаука. – № 43 (266), ч. 3. – М., Изд. «Интернаука», 2022.
- Н.С. Нестеров Особенности применения энергетического кольца в отдельном населенном пункте // Интернаука. – № 11 (281), ч. 2. – М., Изд. «Интернаука», 2023.
- Участие в 33-й Международном конкурсе научно-исследовательских работ 16.05.2023 с работой на тему: «Этапы становления энергетической системы России».
- Диплом лауреата I степени в номинации «Научные статьи по физико-математическим наукам» 33-й Международный конкурс научно-исследовательских работ – 16.05.2023.

1 Особенности становления и развития энергетической системы в России

1.1 Становление энергетической системы в России

Одним из важнейших аспектов, повлиявших на развитие современного мира, является наличие энергетических систем, которые составляют неотъемлемую часть жизни любого человека. Как всем известно, энергетические системы, а в частности, электричество прошли большой путь развития в истории человека.

Изучая детально историю появления и развития электрических, энергетических систем можно отметить один неоспоримый факт того, что становление таких систем можно разделить на определенные этапы. Существует несколько классификаций этапов становления энергетических систем, такие как: этапы, обозначенные определенными временными рамками, обобщающие этапы или же такие этапы, которые соотносятся с человеческой историей [6].

В данной главе мы с вами постараемся выделить четыре основных этапа развития электрических систем, которые являются неотъемлемым аспектом влияния на развитие энергетических систем в России.

Неоспорим тот факт, что дореволюционная Россия славилась своими учеными и инженерами, хотя существует мнение о том, что восточная часть Европы значительно отстает в развитии от западной. Однако в научно-техническом смысле на многих этапах истории Российская империя оказывалось наравне с ведущими на тот момент государствами. В частности, в тот момент, когда балом правила модернизация энергетики – всеобщая электрификация [37].

Разработка плана электрификации в Российской империи, прежде всего, были связаны с возможностью развития инфраструктуры и телеграфной связи, а также с потребностью оснащения населенных пунктов

электричеством, которое в свою очередь значительно бы облегчило бытовую жизнь населения.

Вместе с тем, реализация плана электрификации в Российской империи чаще всего не доходила до своего логического завершения, в связи с политическим и идеологическими проблемами [6].

В 1872-м году в Москве был открыт кабельный завод, а в 1873-м Александр Лодыгин провёл опыты по освещению улиц Петербурга лампами накаливания. Организованное им «Товарищество электрического освещения Лодыгин и Ко» [17].

В процесс реализации электрификации в Российской империи происходили такие значимые события как: электрификация уличного освещения, появление угольно-дуговых ламп, установление маломощных генераторов и так далее [38].

Развитие электроэнергетики России после Октябрьской революции, и разработка Государственного плана электрификации советской России дало толчок формирования энергосистем России. Но стоит отметить, что работы по внедрению масштабной электрификации России велась еще в дореволюционный период [19]. Тем не менее, именно разработка Государственного плана электрификации советской России послужило основополагающим этапом становления электроэнергетики в России.

Уже в 30 годах XX в. в Советской России действовало шесть больших энергосистем, из которых можно выделить Московскую, Ленинградскую и др. Эти системы были созданы на основе линий электропередач с использованием разной мощности напряжения [25].

Применение Государственного плана электрификации советской России положило основу развития промышленного потенциала СССР. В рамках плана были осуществлены такие значимые идеи, как: строительство предприятий, обеспечивающих постройки электростанций, освоение Кузнецкого угольного бассейна (который в свою очередь стал новым

промышленным центром), проведено экономическое районирование, выделен транспортно-энергетический каркас территории страны [24].

То есть, одним из этапов является появление Государственного плана электрификации советской России, его реализация, выполнение плана в более короткие сроки, что в свою очередь повлекло за собой новый этап развития энергетических систем в России.

Развитие инфраструктуры СССР, появление больших энергосистем повлекло за собой вопрос о возможном объединении этих систем в определенные центры, а также вопрос о возможности замещения одной энергосистемы другой энергосистемой [26].

Так в 40 г. XX в. советским правительством было принято решение об объединении трех больших энергосистем в один определенный центр, таким центром стало Объединённое диспетчерское управление Урала, в который входили три районных энергетических системы: Свердловская, Пермская и Челябинская [18]. В дальнейшем происходило создание отдельных центров управления большими энергосистемами.

Появление объединенных энергетических систем показало то, что в случае аварийного отключения одной большой энергосистемы не повлияет на возможность снабжения населения электрической энергией, так как, на две другие станции распределяется нагрузка станции, находящейся в аварийном состоянии [56].

Еще один из этапов развития энергосистем России является появление Единой энергетической системы. Единая энергетическая система России охватывает большую часть территории страны и является крупнейшим в мире централизованно управляемым энергообъединением [61]. Единая энергетическая система России включает в себя две основные зоны, которые не синхронизированных по частоте.

В первую зону входят шесть совместно работающих объединенных энергосистем: Сибири, Урала, Средней Волги, Юга, Центра и Северо-Запада. Во вторую входит только одна объединенная энергосистема Дальнего

Востока. Электрические связи между ними существовали еще с середины 1980-х годов, но по ряду причин, совместная работа этих двух зон на данном этапе развития невозможна [4].

Таким образом, на данный момент развития энергетических систем представляется выделить только четыре основных этапа становления и развития электрических сетей в России. Так к первому этапу можно отнести появление и разработку плана электрификации в Российской империи, предпосылки ее реализации. Вторым этапом выступило появление больших энергосистем, которые в свою очередь дали толчок появлению объединенных энергосистем, то есть третий этап развития. В свою очередь эти этапы послужили развитию Единой энергетической системы, которая может дать новый толчок развитию электросистем России.

1.2 Применение, задачи, проблемы и возможности развития энергетического кольца в России

В настоящее время Россия является одной из крупнейших развитых стран мира, которая полностью обеспечена топливно-энергетическими ресурсами, но при этом огромнейшую часть добываемых ресурсов она экспортирует в другие страны. Единая энергетическая система России на данный момент времени является неотъемлемой частью современной жизни. Единая энергетическая система – это, прежде всего, совокупность электроэнергетических объектов, которые связаны между собой производственными и имущественными отношениями, а также процессом производства и передачи электроэнергии в условиях централизованного оперативно-диспетчерского управления. Развитие энергетики является одним из важнейших аспектов формирования преобразований в России.

Единая энергетическая система представляет собой объединенные энергосистемы, которые соединяются между друг другом определенными системными связями и охватывают значительную часть территории России.

Она работает в общем режиме и имеет централизованное диспетчерское управление [12].

В настоящее время в состав Единой энергетической системы России входят шесть работающих объединенных энергосистем, а именно: Центра, Юга, Северо-Запада, Средней Волги, Урала и Сибири. Стоит отметить, что Единая энергетическая система России ведет параллельно работающие объединенные энергетические системы других стран [30].

Единая энергетическая система России, прежде всего, была создана для того, чтобы надежно обеспечивать электроснабжением потребителей на территории России, а также обеспечить экономическое потребление электричества с максимальной возможностью реализации параллельной работы энергосистем [60].

Потребность в создании единого энергетического кольца возникла еще в советское время. наличие больших энергетических станций повлекло за собой проблему аварийного отключения электроэнергии на таких станциях. В связи с возникновением такой проблемы в советский период было принято решение об объединении электростанций и перевод их на централизованное управление. Это позволило обеспечить непрерывную подачу электроэнергии населению [35].

Стоит отметить, что на территории России для функционирования электростанций используются различные природные запасы топлива, из-за этого электростанции делятся на тепловые и атомные, а также есть гидроэлектростанции. В работе Единой энергетической системы России в большей степени используются гидроэлектростанции, так как они являются наиболее оптимальными для эксплуатации [32].

Использование гидроэлектростанций позволяет обеспечить функционирование систем автоматического регулирования частоты мощности, а также перетоков, которые являются необходимыми для постоянного поддержания производства и потребления электроэнергии [48].

Одной из целей создания и развития Единой энергетической системы

является обеспечение надежного и экономичного электроснабжения потребителей на территории России с максимально возможной реализацией преимуществ параллельной работы энергосистем.

Перед работой Единой энергетической системы стоит несколько важнейших задач, такие как:

- оптимизация работы объединенных энергетических систем страны;
- централизация управления объединенными энергетическими системами;
- улучшение передачи электроэнергии в отдаленные районы;
- бесперебойная подача электроэнергии во все сферы жизнедеятельности;
- взаимозаменяемость ОЭС при возникновении чрезвычайных и аварийных ситуациях.
- модернизация станции без прерывания энергообеспечения;
- снижение суммарной установленной мощности электростанций за счет совмещения максимумов нагрузки энергосистем;
- сокращение резервной мощности на электростанциях;
- рациональное использование располагаемых первичных энергоресурсов с учетом изменяющейся топливной конъюнктуры;
- удешевление энергетического строительства и улучшение экологической ситуации [36].

Важно отметить, что в состав Единой энергетической системы входит более 800 электростанций мощностью более 5 МВт, что приводит к аварийным перебоям в глобальной сети Единой энергетической системы, которые вызваны несколькими особенностями [5]. Охват большой территории, восьмичасовых поясов, а также различные климатические условия является одной из наиболее важных проблем функционирования Единой энергетической системы [2].

Как уже сказано выше, к одной из проблем функционирования Единой

энергетической системы относится территориальная расположенность энергетических станций, а также слабая межсистемная связь между ними. Одним из примеров может послужить взаимодействие Объединенной энергетической системы Юга и Объединенной энергетической системы Сибири, а также особенностью их расположения. Со стороны Объединенной энергетической системы Юга проблемой оснащения электроэнергией является район Кавказского хребта и наличие гололедообразования, что в свою очередь в период таяния льдов влияет на неравномерный сток рек, соответственно затрудняет работу Объединенной энергетической системы, в связи с невозможностью прогнозирования. Аналогичная ситуация происходит в Объединенной энергетической системе Сибири в связи с расположенностью Объединенной энергетической системы в бассейне рек Ангары и Енисея, а также наличие в определенные периоды года стихийных пожаров, также не благополучно влияет на работу Объединенной энергетической системы Сибири [50].

Немаловажной проблемой является обособленная работа Объединенной энергетической системы Дальнего Востока и ряда его крупных регионов и частей, таких как: Магадан, Камчатка, Сахалин и др. Это обусловлено тем, что удаленностью от основных центров и тяжелыми климатическими условиями [24]. Также, одно из обособленных энергосистем на данный момент является Объединенная энергетическая система Калининградской области, так как, Калининградская область это анклавный регион, который находится в зоне синхронной работы с энергосистемой Литвы и входит в Объединенную энергетическую систему Балтии [16].

Одной из особенностей передачи электроэнергии является наличие линий электропередач. На территории России используются линии электропередач различной мощности 220, 330, 500 и 750 кВт. Применение линий электропередач, направленных на различную мощность обусловлено расстоянием, а также тем, на что они направлены. Но наличие линий электропередач разной мощности и применение их для различных целей

формирует еще одну проблему, а именно высокий уровень потерь в электрических сетях. Такие потери характеризуются технологическими потребностями передачи электроэнергии и ее поступления и отпуска, не стоит упускать и момент расхода электроэнергии на собственные нужды электроподстанций [3].

Непрерывная работа электрических сетей и станций приводит к формированию следующей проблемы, такой как, износ основного оборудования, направленного на добычу, передачу и сохранение электроэнергии. Общий износ сетей достигает от 50 до 70 % [51].

В связи с обширностью поставленных задач перед электроэнергетикой вопросы решения выявленных проблем должен стать системным и направленным на улучшение показателей эксплуатации электрооборудования и электростанций. Разработка новой технической политики может быть направлена на снижение электропотерь при передаче и распределении электроэнергии [49]. Для улучшения показателей эксплуатации электрооборудования и электростанций и снижение потерь при передаче электроэнергии необходим рациональный подход в строительстве новых электросетей.

Непрерывное увеличение мощности и расширение обслуживаемых территорий, а также появление новых технологий производства, преобразования, транспорта и распределения электрической энергии – все это повышает требования к надежности Единой энергетической системы [52].

Потери электроэнергии в электрических сетях неизбежны, для достижения наибольшего эффекта снижения потерь в сети необходимо осуществлять своевременные проверки состояния оборудования, его модернизацию, повышать пропускную способность [54].

Так же к перспективам развития Единой энергетической системы России является присоединение Объединенной энергетической системы Калининграда и Объединенной энергетической системы Дальнего Востока,

что послужит оптимизации процесса передачи электроэнергии в отдаленных районах страны, а также в определенные моменты снизить нагрузку на эти Объединенные энергетические системы и на другие [34].

Таким образом, Единая энергетическая системы России является неотъемлемой частью развития энергетики России, которая в свою очередь направлена на оптимизацию работы Объединенных энергетических систем. Единая энергетическая система России на данный момент является уникальным централизованным объединением, которое не имеет аналогов [26]. Применение диспетчерского и автоматического управления Единой энергетической системы России и Объединенной энергетической системы показала высокую эффективность. За последние полвека на территории России отсутствовали глобальные аварийные сбои, такие как произошедшие в Соединенных Штатах Америки, Канаде и ряде стран Европы. Для осуществления поставленных задач перед Единой энергетической системой России необходимо введение новых генерирующих мощностей, техническое оснащение Объединенной энергетической системы [30].

Таким образом, Россия является одной из крупнейших развитых стран мира, которая полностью обеспечена топливно-энергетическими ресурсами, но при этом огромнейшую часть добываемых ресурсов она экспортирует в другие страны [35].

В настоящее время в нашей стране используется несколько видов энергоресурсов, одним из таких видов является электроэнергия [42]. Наличие энергетических систем, которые составляют неотъемлемую часть жизни любого человека. Как всем известно, энергетические системы, а в частности, электричество прошли большой путь развития в истории человека.

Изучая историю развития электроэнергетики России, можно выделить несколько этапов:

- дореволюционный – этап, в который был направлен на всеобщую электрификация. В связи с политическим и идеологическими

проблемами реализация плана электрификации в Российской империи чаще всего не доходила до своего логического завершения.

- послереволюционный – разработка Государственного плана электрификации советской России. Разработка Государственного плана электрификации советской России послужило основополагающим этапом становления электроэнергетики в России
- выделение больших энергосистем, таких как оперативно-диспетчерского управления Урала. Дальнейшее развитие энергосистемы было обусловлено созданием отдельных центров управления большими энергосистемами.
- создание Единой энергетической системы России, выделение двух зон Единой энергетической системы России.

Единая энергетическая система России на данный момент времени является неотъемлемой частью современной жизни. Она представляется собой совокупность электроэнергетических объектов, которые связаны между собой производственными и имущественными отношениями, а также процессом производства и передачи электроэнергии в условиях централизованного оперативно-диспетчерского управления.

Стоит отметить, что на территории России для функционирования электростанций используются различные природные запасы топлива, из-за этого электростанции делятся на тепловые и атомные, а также есть гидроэлектростанции. В работе Единой энергетической системы России в большей степени используются гидроэлектростанции, так как они являются наиболее оптимальными для эксплуатации.

Одной из целей создания и развития Единой энергетической системы является обеспечение надежного и экономичного электроснабжения потребителей на территории России с максимально возможной реализацией преимуществ параллельной работы энергосистем.

Перед работой Единой энергетической системы стоит несколько важнейших задач, такие как:

- оптимизация работы объединенных энергетических систем страны;
- централизация управления объединенными энергетическими системами;
- улучшение передачи электроэнергии в отдаленные районы;
- бесперебойная подача электроэнергии во все сферы жизнедеятельности;
- взаимозаменяемость ОЭС при возникновении чрезвычайных и аварийных ситуациях;
- модернизация станций без прерывания энергообеспечения;
- снижение суммарной установленной мощности электростанций за счет совмещения максимумов нагрузки энергосистем;
- сокращение резервной мощности на электростанциях;
- рациональное использование располагаемых первичных энергоресурсов с учетом изменяющейся топливной конъюнктуры;
- удешевление энергетического строительства и улучшение экологической ситуации.

Охват большой территории, восьмичасовых поясов, а также различные климатические условия выступает особенностями, при которых формируются проблемы работы Единой энергетической системы России, а также разделение на две основные обособленные зоны.

В связи с обширностью поставленных задач перед электроэнергетикой вопросы решения выявленных проблем должен стать системным и направленным на улучшение показателей эксплуатации электрооборудования и электростанций. Разработка новой технической политики может быть направлена на снижение электропотерь при передаче и распределении электроэнергии. Для улучшения показателей эксплуатации электрооборудования и электростанций и снижение потерь при передаче электроэнергии необходим рациональный подход в строительстве новых электросетей.

Одним из дальнейших вариантов развития энергетической системы России и Единого энергетического кольца может выступать закольцованность энергетических подстанций в более мелких масштабах. То есть, применение единого кольца в условиях одного города или области. Таким образом, перед электроподстанциями одного субъекта (области или города) будут стоять, примерно, те же задачи, что и перед Единой энергетической системой России.

Одним из главных приоритетов является развитие рыночной инфраструктуры энергетики (рыночные механизмы, институты открытой торговли энергоресурсами, инфраструктура их транспорта). Особое значение придается программе повышения цен на газ и механизмам минимизации негативных социально-экономических последствий общего роста цен на энергоресурсы. Поддержка и стимулирование стратегических инициатив в энергетике являются основой для реализации крупных энергетических проектов в будущем.

Итак, Единая энергетическая система России является неотъемлемой частью развития энергетики России, которая в свою очередь направлена на оптимизацию работы объединенных энергетических систем. Единая энергетическая система России на данный момент является уникальным централизованным объединением, которое не имеет аналогов. Применение диспетчерского и автоматического управления Единой энергетической системы России и Объединенной энергетической системы показала высокую эффективность. За последние полвека на территории России отсутствовали глобальные аварийные сбои, такие как произошедшие в США, Канаде и ряде стран Европы. Для осуществления поставленных задач перед Единой энергетической системой России необходимо введение новых генерирующих мощностей, техническое оснащение Объединенной энергетической системы.

2 Энергетическое кольцо, как факт оптимизации потребления электроэнергии в условиях одного города

2.1 Возможность применения энергетического кольца на микроуровне на примере одной организации

Энергетическая система – это сложный механизм добычи и поставки электроэнергии от производителя к потребителю. Процесс поставки электроэнергии затрагивает множество важных аспектов, таких как сохранения энергии, возможность его передачи в малых масштабах, а также возможность сохранения энергии при непредвиденных обстоятельствах [19]. Электроэнергетика является неотъемлемой частью жизни современного человека, и в случае ее планового или внепланового отключения в первую очередь страдает потребитель.

Неоспорим тот факт, что функционирование многих организаций зависят от сохранения электроэнергии в критических условиях. Возникает вопрос: можно ли подключить резервное питание предприятия без остановки его функционирования? Для проработки такого вопроса необходимо было изучить возможность создания энергетического кольца на одном предприятии.

Как уже было сказано ранее, Единая энергетическая система России позволила значительно облегчить передачу электроэнергии по обширной территории. При изучении этого вопроса было установлено, что данная схема работы не применяется даже в условиях одного населенного пункта, что является большим упущением возможностей со стороны развития электроэнергетики [20]. Применение такой технологии может позволить решить большое количество проблем, связанных с аварийным отключением электроэнергии на большой промежуток времени.

При проработке вопроса непрерывного оснащения электроэнергией одно предприятия, была также изучена возможность создания

закольцованности подстанций населенного пункта. Применение технологии энергетического кольца на уровне одного субъекта государства позволило бы избежать отключения электроэнергии на неопределенный срок в аварийных условиях, а также уменьшить возможный нанесенный ущерб при таком отключении [47].

Изучение возможности применения энергетического кольца для предприятия является одним из направлений развития электроэнергетики в будущем, это может стать новым этапом развития и становления энергетической системы так, как всем известно, что наука и ее развитие никогда не стоит на месте. Стоит отметить, что довольно часто происходит проблемы с перебоем электроэнергии в отдельных районах населенного пункта, что непосредственно влияет на работу предприятия и его объектов применение энергетического кольца позволит снизить нагрузку на электроподстанции, а также позволит взаимозаменять (резервировать) электроподстанции.

Изучая вопрос оснащения электроэнергией одного или нескольких населенных пунктов, очень часто встречается ситуация, что область или один населенный пункт, или же часть населённого пункта оставалась без электроэнергии. Так, 4 декабря 2021 года шесть населенных пунктов Амурской области остались без света (электроэнергии). Другая ситуация – 27 сентября 2021 года из-за аварийного отключения одной из подстанций города Благовещенска Амурской области часть города осталась без электричества, а 16 декабря 2021 года, также часть Благовещенска осталась без света и все по той же причине [52, 53]. И это все только малая часть того, что происходит в одном населенном пункте или области и только на одном, но достаточно ярком примере.

Если представить, что «энергетическое кольцо» применили в более малых масштабах, чем страна, сколько проблем по оснащению электричеством решило бы применение данной схемы, но возникает

закономерный вопрос: каким образом можно реализовать данную технологию?

Так при отключении одного района города и при отключении одной подстанции с условием применения «энергетического кольца» можно было бы избежать, таких проблем как отсутствие электричества на несколько часов или дней. Исходя из вышеизложенного, можно предположить, что в случае аварийного отключения одной из подстанций, нагрузка по оснащению определенной территории распределится на ближайшие подстанции, таким образом обеспечится оснащение электроэнергией территории, попавшей в зону отключения электроэнергии.

Применение «энергетического кольца» в отдельном населенном пункте является одним из важнейших вопросов современного мира, а именно: вопросом по обеспечению электричества населения. Изучение возможности применения «энергетического кольца» в условиях населенного пункта позволит при возникновении аварийной ситуации на одной из подстанций города, более основательно и всесторонне разобрать проблему возникновения данной ситуации и применить меры по её устранению в более приемлемый срок.

Изучив вопрос создания энергетического кольца в условиях города (более подробно далее по тексту), возник еще один немало значимый вопрос, а именно: можно ли применить данную технологию на одном предприятии обеспечив его полную и непрерывную работу без отключения объектов предприятия, подпадающих под охрану, то есть, обеспечить непрерывную охрану объектов предприятия?

При изучении данного вопроса были проанализированы объекты предприятия с разной удаленностью друг от друга и от самого предприятия, также была изучена территориальная удаленность объектов предприятия от подстанций, к которым они подключены.

Проанализировав дальность объектов предприятия, была выявлена возможность разработать проект, при котором объекты этого предприятия

будут закольцованы между собой. Разработка такого проекта и его применение позволит обеспечить непрерывное функционирование предприятия в целом, а также производить своевременный ремонт элементов энергосистемы без остановки деятельности предприятия и отключения электроэнергии.

В рамках рассмотрения данного вопроса была изучена схема электроснабжения предприятия и его объектов, представленная в Приложении А, Рисунок А.1.

Согласно данной схеме, существует три вида потребителей: диспетчер, офис и фидер. Диспетчер потребляет 5 киловатт (далее по тексту – кВт), офис – 10 кВт, фидер – 20 кВт. Источниками мощности выступают трансформаторные подстанции 1, 2 и 3. Условная мощность одной подстанций составляет 500 кВт. Общая выходная мощность 1500 кВт, общая мощность потребления диспетчера, офиса и фидера составляет 35 кВт.

Учитывая, что существуют дополнительные источники аварийного питания: дизельный генератор на 100 кВт и блок батарей аккумулятора на 50 кВт, оплата «лишней» электроэнергии и обслуживания линий электропередач является нецелесообразной.

Для более рационального использования электроснабжения была разработана схема модернизации электроснабжения предприятия и подконтрольных субъектов, представленная в Приложении Б, Рисунок Б.1.

При разработке схемы был сделан упор на исключение 3 подстанции и возможность аварийного переподключения подстанций 1 и 2.

В соответствии с разработанной схемой 3, подстанция исключается из электроснабжения предприятия посредством установления оборудования между 1 и 2 трансформаторными подстанциями, а именно: установлением аварийного ввода резервного питания. Между линией нагрузки с аварийного ввода резервного питания 1 и дизельным генератором необходимо установить устройство аварийного ввода резервного питания, а между линией нагрузки, выходящей с аварийного ввода резервного питания 2, и

блоком батарей аккумулятора установить 3 устройство аварийного ввода резервного питания [40].

В случае отключения трансформаторной подстанции 1 будет создана возможность подключиться к трансформаторной подстанции 2 через устройство аварийного ввода резервного питания 1. Аналогично при отключении двух трансформаторных подстанций будет возможно подключить дизельный генератор через устройство аварийного ввода резервного питания 2 и так далее [41].

Такой способ электроснабжения обеспечивает непрерывную подачу электроэнергии на предприятие или его объекты без снижения потребляемой энергии, что позволяет объектам предприятия, находится под постоянным и круглосуточным контролем, а также обеспечивает полную функциональность предприятия в аварийных условиях [8].

Основной задачей применения данной схемы является сокращение объема электроснабжения и уменьшения финансовых затрат предприятия с возможностью сохранения общего объема потребляемой электроэнергии.

На основе вышесказанного произведем расчеты для отдельно взятого предприятия, источниками питания которого являются две трансформаторные подстанции мощностью 500 кВт каждая и резервный источник питания (дизельный генератор мощностью 320 кВт), схема которого представлена на рисунке 1.

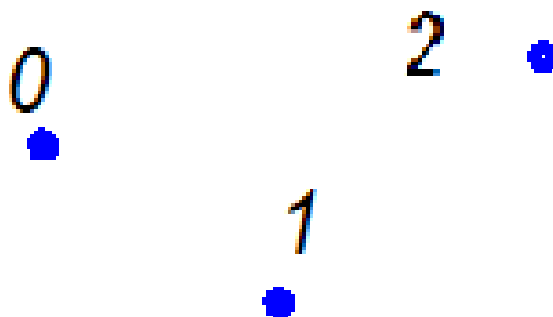


Рисунок 1 – Схема отдельного предприятия

Расстояние между точками:

$$l_{01} = 0,2 \text{ км} ,$$

$$l_{02} = 0,7 \text{ км} ,$$

$$l_{12} = 0,6 \text{ км} .$$

Характеристики двух трансформаторных подстанций мощностью 500 кВт каждая и резервного источника питания (дизельный генератор мощностью 320 кВт), являющихся источниками питания предприятия, представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики источников питания предприятия

Параметр	Активная мощность нагрузки, МВт	Коэффициент мощности	Реактивная мощность нагрузки, Мвар	Полная мощность нагрузок, МВа	Номинальное напряжение, кВ
Источник питания 0	0	0,95	0	0	0
Трансформатор 1	0,5	0,8	0,375	0,625	0,4
Трансформатор 2	0,5	0,8	0,375	0,625	0,4
Генератор	0,32	0,8	0,24	0,4	0,4

Полная мощность нагрузки потребителей S_i рассчитывается, исходя из отношения активной мощности P_i к коэффициенту мощности $\cos \varphi_i$, приведенных в таблице 1.

$$|\dot{S}_i| = \frac{P_i}{\cos \varphi_i} , \quad (1)$$

$$Q_i = \sqrt{|\dot{S}_i|^2 - P_i^2} . \quad (2)$$

Схема электрической сети предприятия представлена на рисунке 2.

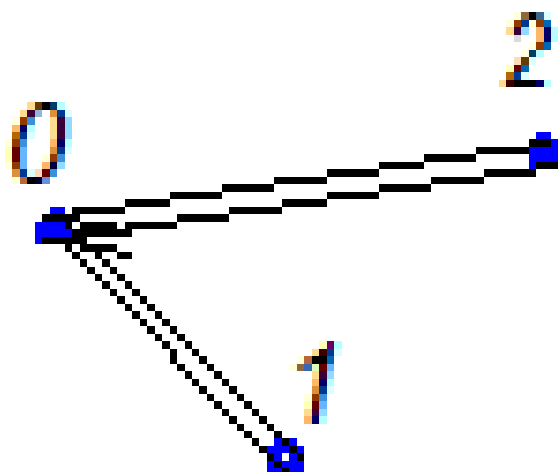


Рисунок 2 - Схема электрической сети предприятия

Основные технические характеристики, а также расчет ориентировочной стоимости систем электрической сети предприятия представлены в таблице 2.

Таблица 2 - Характеристика основных систем предприятия

Участок	Длина линии электропередач, км.	Сумма длин линий электропередач, км.	Количество выключателей, шт.	Общее количество выключателей, шт.	Мощность нагрева, МВт	Момент мощности Мвт* км	Общий момент мощности Мвт* км	Ориентировочная стоимость, тыс. руб.
00	0	0,9	9	11	0	0	0,48	6861,55
01	0,2		1		0,5	0,1		
02	0,7		1		0,5	0,35		

Примем напряжение на всех участках сети равное 6 кВ.

Ориентировочная стоимость одного метра кабельной линии: при напряжении 6 кВ – 9,5 тыс. руб.; при напряжении 0,4 кВ – 3 тыс. руб.

Стоимость одного выключателя: при напряжении 6 кВ – 623 тыс. руб.; при напряжении 0,4 кВ – 13,5 тыс. руб.

По данным, отраженным в таблице 2, производим составление

электрической сети с закрытым контуром, представленной на рисунке 3.

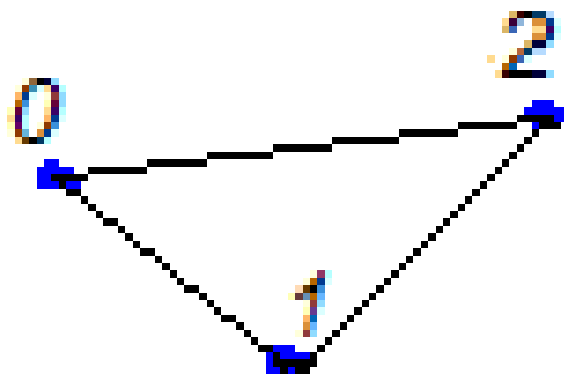


Рисунок 3 - Схема, имеющая замкнутый контур

Характеристики схемы электрической сети, имеющей закрытый контур, представлены в таблице 3.

Таблица 3 - Характеристика схемы, имеющей закрытый контур

Участок	Длина линии электропередач, км.	Сумма длин линий электропередач, км.	Количество выключателей, шт.	Общее количество выключателей, шт.	Ориентировочная стоимость, тыс. руб.
01	0,2	1,5	1	3	1883,25
02	0,7		1		
12	0,6		1		

Произведем приблизительный расчет потокораспределения в электрической сети предприятия [46].

Произведем расчет потоков мощности для отрезков сети с нормальными параметрами.

$$\dot{S}_{np02} = \frac{\dot{S}_2}{2}, \quad (3)$$

$$\dot{S}_{np02} = \frac{0,32 + j0,24}{2} = 0,16 + j0,12 \text{ MVA},$$

$$\dot{S}_{np01} = \frac{\dot{S}_1}{2}, \quad (4)$$

$$\dot{S}_{np01} = \frac{0,5 + j0,38}{2} = 0,25 + j0,19 \text{ MVA}$$

Произведем расчет потоков мощности для отрезков сети в послеаварийном режиме.

$$\dot{S}_{np01} = \dot{S}_1 = 2\dot{S}_{01}, \quad (5)$$

$$\dot{S}_{np01} = 0,5 + j0,38 \text{ MVA}$$

Произведем расчет потокораспределения в закольцованной сети в штатном режиме.

Произведем расчет потоков мощности для отрезков сети по правилу электрических моментов:

$$\dot{S}_{01} = \frac{\dot{S}_1 \cdot (l_{12} + l_{02}) + \dot{S}_2 \cdot l_{02}}{l_{01} + l_{12} + l_{02}}, \quad (6)$$

$$\dot{S}_{01} = \frac{(0,5 + j0,38) \cdot (0,6 + 0,7) + (0,5 + j0,38) \cdot 0,7}{0,2 + 0,7 + 0,6} = 0,67 + j0,51 \text{ MVA},$$

$$\dot{S}_{02} = \frac{\dot{S}_2 \cdot (l_{12} + l_{01}) + \dot{S}_1 \cdot l_{01}}{l_{01} + l_{12} + l_{02}}, \quad (7)$$

$$\dot{S}_{02} = \frac{(0,32 + j0,24) \cdot (0,6 + 0,2) + (0,32 + j0,24) \cdot 0,2}{0,2 + 0,7 + 0,6} = 0,21 + j0,16 \text{ MVA},$$

$$\dot{S}_{12} = \frac{\dot{S}_1 \cdot (l_{02} + l_{01}) + \dot{S}_2 \cdot l_{02}}{l_{01} + l_{12} + l_{02}}, \quad (8)$$

$$\dot{S}_{12} = \frac{(0,5 + j0,38) \cdot (0,6 + 0,7) + (0,32 + j0,24) \cdot 0,2}{0,2 + 0,7 + 0,6} = 0,48 + j0,36 \text{ MVA}$$

По формуле Стилла при базисном напряжении 6кВ для каждого отрезка сети предприятия рассчитаем номинальное напряжение:

$$U_{ном} = 4,34 \sqrt{l_{уч} + 16P_{уч}}, \quad (9)$$

$$U_{ном01} = 4,34 \sqrt{0,2 + 16 \cdot 0,25} = 2,34 \text{ кВ},$$

$$U_{ном02} = 4,34 \sqrt{0,7 + 16 \cdot 0,16} = 3,89 \text{ кВ}$$

Для всех отрезков напряжение округляем до сотых.

$$U_{ном} = 0,4 \text{ кВ}, U_{ном} = 6 \text{ кВ}$$

Сравним полученные значения со значениями допустимой суммарной потери напряжения в сети в нормальном и послеаварийном режимах.

Для 0,4 кВ $r_0 = 0,3 \text{ Ом}$, $x_0 = 0,4 \text{ Ом}$.

При $U_{ном} = 0,4 \text{ кВ}$:

$$\Delta U_{допнр} = \frac{7,5}{100} U_{ном} = 0,075 \cdot 0,4 = 0,03 \text{ кВ}$$

При $U_{ном} = 6 \text{ кВ}$:

$$\Delta U_{допнр} = \frac{7,5}{100} U_{ном} = 0,075 \cdot 6 = 0,45 \text{ кВ}$$

$$\Delta U = \frac{P \cdot r_0 \cdot l + Q \cdot x_0 \cdot l}{U_{ном}}, \quad (10)$$

$$\Delta U_{01нр} = \frac{0,25 \cdot 0,3 \cdot 0,2 + 0,19 \cdot 0,4 \cdot 0,2}{0,4} = 0,07 > U_{доп} = 0,03кВ,$$

$$\Delta U_{02нр} = \frac{0,16 \cdot 0,3 \cdot 0,7 + 0,12 \cdot 0,4 \cdot 0,7}{0,4} = 0,16 > U_{доп} = 0,03кВ$$

Так как полученные результаты превышают допустимые значения суммарной потери напряжения, то напряжение равное 0,4 кВ для закольцованной электрической сети не может быть использовано.

Проверим, может ли использоваться напряжение равное 6 кВ в послеаварийном режиме:

$$\begin{aligned} \Sigma \Delta U_{012авар} &= \Delta U_{01} + \Delta U_{02} = 2 \cdot \Delta U_{01} + 2 \cdot \Delta U_{02} = \\ &= 2 \cdot (\Delta U_{01} + \Delta U_{02}) \end{aligned} \quad , \quad (11)$$

$$\Sigma \Delta U_{012авар} = 2 \cdot 0,23 = 0,46кВ > 7,5\% U_{ном} = 0,45$$

Электросистема не может использовать напряжение в 6 кВ, так как полученные значения больше допустимой суммарной потери напряжения и в нормальном, и в послеаварийном режимах.

В силу того, что, при закольцованной электросистеме, напряжение одинаковое на всех отрезках, номинальное напряжение следует рассчитывать по самому загруженному отрезку сети.

$$U_{ном} = 4,34 \sqrt{l_{уч} + 16P_{уч}} \quad , \quad (12)$$

$$\Delta U = \frac{P \cdot r_0 \cdot l + Q \cdot x_0 \cdot l}{U_{ном}} \quad , \quad (13)$$

$$U_{ном12} = 4,34 \sqrt{0,6 + 16 \cdot 0,48} = 4,13кВ$$

$$\Delta U_{11} = \frac{0,48 \cdot 0,3 \cdot 0,6 + 0,36 \cdot 0,4 \cdot 0,6}{0,4} = 0,43кВ > \Delta U_{доп} = 0,03кВ$$

В разработанной схеме базовое напряжение равное 0,4 кВ не может быть использовано в силу того, что результаты расчетов выше допустимых значений суммарной потери напряжения.

Предположим, что базисное напряжение отрезка сети 012 равно 6 кВ.

Проверим отношение полученных результатов к допустимым значениям суммарной потери напряжения в нормальном режиме:

$$\sum \Delta U_{012нр} = \Delta U_{12нр} = \frac{0,48 \cdot 0,3 \cdot 0,6 + 0,36 \cdot 0,4 \cdot 0,6}{6} = 0,03 \text{ кВ} \leq 15\% U_{ном} = 0,9 \text{ кВ}$$

В силу того, что при базисном напряжении 6 кВ на участке 012 полученные в ходе расчетов, результаты меньше значений допустимой суммарной потери напряжения, можем принять номинальное напряжение на кольцевом участке равное 6 кВ.

Для дальнейших расчетов балансов активной и реактивной мощности электрической сети необходимо использовать следующие коэффициенты [9, 28].

Коэффициент одновременности потребления активной мощности $k_{oa} = 0,95$;

$$\Delta P_{лэн\Sigma} + \Delta P_{тр\Sigma} = 0,08 * P_{нагр\Sigma} \quad (14)$$

Отсюда резервная активная мощность сети равна:

$$P_{рез} = 0,1 * P_{нагр\Sigma} \quad (15)$$

Коэффициент одновременности потребления реактивной мощности $k_{ор} = 0,95$;

$$\Delta Q_{тр\Sigma} = 0,1 * |S_{нагр\Sigma}| \quad (16)$$

Отсюда резервная реактивная мощность сети равна:

$$Q_{рез} = 0,1 * Q_{нагр\Sigma} , \quad (17)$$

$$Q_{с\Sigma} = \Delta Q_{лэн\Sigma} . \quad (18)$$

Используя полученные выражения можно вывести уравнение для расчета баланса активной мощности в электрической сети:

$$\begin{aligned} P_{сети} &= k_{оа} \cdot P_{нагр\Sigma} + \Delta P_{лэн\Sigma} + \Delta P_{тр\Sigma} + P_{рез} = \\ &= 0,95 \cdot P_{нагр\Sigma} + 0,08 \cdot P_{нагр\Sigma} + 0,1 \cdot P_{нагр\Sigma} = 1,13 \cdot P_{нагр\Sigma} . \end{aligned} \quad (19)$$

При этом сумма активных мощностей нагрузок, запитанных от сети равна:

$$P_{нагр\Sigma} = \Sigma P_{нагр i} , \quad (20)$$

$$P_{нагр\Sigma} = 0,5 + 0,5 + 0,32 = 1,32 \text{ МВт} .$$

Произведем расчет значений активной мощности электрической сети, которые необходимы для реализации потребностей предприятия в электрической энергии:

$$P_{сети} = 1,13 * 1,32 = 1,49 \text{ МВт} .$$

Для дальнейших расчетов предположим, что номинальной мощности источника питания $P_{ин}$ хватает для восполнения потребностей сети:

$$P_{un} = P_{сети} = 1,49 \text{ МВт}$$

Значение реактивной мощности, которую источник питания подает в сеть, рассчитывается по выражению:

$$Q_{un} = P_{un} \cdot \operatorname{tg} \varphi_{un} = 1,49 \cdot 0,33 = 0,49 \text{ Мвар}$$

$$\cos \varphi_{un} = 0,95 \Rightarrow \operatorname{tg} \varphi_{un} = 0,33$$

Исходя из полученных данных, рассчитаем баланс реактивной мощности в электрической сети:

$$Q_{сети} = k_{ор} \cdot Q_{нагр\Sigma} + \Delta Q_{лэн\Sigma} + \Delta Q_{тр} + Q_{рез} - Q_{с\Sigma}, \quad (21)$$

$$Q_{нагр\Sigma} = Q_1 + Q_2, \quad (22)$$

$$Q_{нагр\Sigma} = 0,375 + 0,24 = 0,615 \text{ Мвар}$$

$$\Delta Q_{лэн\Sigma} = \Delta Q_{01} + \Delta Q_{02}, \quad (23)$$

$$\Delta Q_{01} = \left(\frac{2 \cdot |S_{01нр}|}{U_{ном}} \right)^2 \cdot \frac{x_0 \cdot l_{01}}{2}, \quad (24)$$

$$\Delta Q_{02} = \left(\frac{2 \sqrt{0,16^2 + 0,12^2}}{6} \right)^2 \cdot \frac{0,4 \cdot 0,7}{2} = 0,0004 \text{ Мвар},$$

$$\Delta Q_{01} = \left(\frac{2 \sqrt{0,25^2 + 0,19^2}}{6} \right)^2 \cdot \frac{0,4 \cdot 0,2}{2} = 0,0003 \text{ Мвар}$$

$$\Delta Q_{лэн\Sigma} = 0,0004 + 0,0003 = 0,0007 \text{ Мвар}$$

$$\Delta Q_{тр\Sigma} = \Delta Q_{тр1} + \Delta Q_{тр2}, \quad (25)$$

$$\Delta Q_{\text{тpи}} = 0,1 \cdot |S_{\text{нагр}}|, \quad (26)$$

$$\Delta Q_{\text{тp}\Sigma} = 0,1 \cdot |S_1| + 0,1 \cdot |S_2| = 0,1 \cdot (|S_1| + |S_2|), \quad (27)$$

$$\Delta Q_{\text{тp}\Sigma} = 0,1 \cdot (0,625 + 0,4) = 0,125 \text{ Мвар}$$

$$Q_{\text{рез}} = 0,1 \cdot Q_{\text{нагр}\Sigma}, \quad (28)$$

$$Q_{\text{рез}} = 0,1 \cdot 0,615 = 0,0615 \text{ Мвар},$$

$$Q_{\text{с}\Sigma} = \Delta Q_{\text{лэн}\Sigma} = 0,0007 \text{ Мвар},$$

$$Q_{\text{сети}} = 0,95 \cdot 0,615 + 0,0007 + 0,125 + 0,0615 - 0,0007 = 0,77 \text{ Мвар}.$$

По подобию произведем расчет баланса реактивной мощности в закольцованной электрической сети.

$$Q_{\text{сети}} = k_{\text{ор}} \cdot Q_{\text{нагр}\Sigma} + \Delta Q_{\text{лэн}\Sigma} + \Delta Q_{\text{тp}} + Q_{\text{рез}} - Q_{\text{с}\Sigma}, \quad (29)$$

$$Q_{\text{нагр}\Sigma} = Q_1 + Q_2 + Q_3, \quad (30)$$

$$Q_{\text{нагр}\Sigma} = 0,375 + 0,375 + 0,24 = 0,99 \text{ Мвар}$$

$$\Delta Q_{\text{лэн}\Sigma} = \Delta Q_{01} + \Delta Q_{12} + \Delta Q_{02}, \quad (31)$$

$$\Delta Q_{01} = \left(\frac{2 \cdot |S_{01\text{нp}}|}{U_{\text{ном}}} \right)^2 \cdot \frac{x_0 \cdot l_{01}}{2}, \quad (32)$$

$$\Delta Q_{02} = \left(\frac{2 \sqrt{0,16^2 + 0,12^2}}{6} \right)^2 \cdot \frac{0,4 \cdot 0,7}{2} = 0,0004 \text{ Мвар},$$

$$\Delta Q_{01} = \left(\frac{2 \sqrt{0,25^2 + 0,19^2}}{6} \right)^2 \cdot \frac{0,4 \cdot 0,2}{2} = 0,0003 \text{ Мвар},$$

$$\Delta Q_{12} = \left(\frac{2\sqrt{0,25^2 + 0,19^2}}{6} \right)^2 \cdot \frac{0,4 \cdot 0,6}{2} = 0,001 \text{ Мвар},$$

$$\Delta Q_{лэн\Sigma} = 0,0004 + 0,0003 + 0,001 = 0,0017 \text{ Мвар},$$

$$\Delta Q_{тр\Sigma} = \Delta Q_{тр1} + \Delta Q_{тр2} + \Delta Q_{тр3}, \quad (33)$$

$$\Delta Q_{три} = 0,1 \cdot |S_{нагр}|, \quad (34)$$

$$\Delta Q_{тр\Sigma} = 0,1 \cdot |S_1| + 0,1 \cdot |S_2| + 0,1 \cdot |S_3| = 0,1 \cdot (|S_1| + |S_2| + |S_3|), \quad (35)$$

$$\Delta Q_{тр\Sigma} = 0,1 \cdot (0,625 + 0,625 + 0,4) = 1,65 \text{ Мвар},$$

$$Q_{рез} = 0,1 \cdot Q_{нагр\Sigma}, \quad (36)$$

$$Q_{рез} = 0,1 \cdot 0,99 = 0,099 \text{ Мвар},$$

$$Q_{с\Sigma} = \Delta Q_{лэн\Sigma} = 0,0017 \text{ Мвар},$$

$$Q_{сети} = 0,95 \cdot 0,99 + 0,0017 + 0,165 + 0,099 - 0,0017 = 1,2 \text{ Мвар}.$$

Таким образом, непрерывная подача электроэнергии между объектами предприятия, позволяет закольцевать между собой энергоподстанции. Применение технологии энергетического кольца оптимизирует работу аварийных служб, а также самого предприятия, без прерывания работы объекта. В связи с тем, что объекты находятся под охраной предприятия, а при отключении электричества охрана объектов снижается, то целесообразно разработать план непрерывной подачи электропитания на объекты предприятия и применить его на практике. Как уже было сказано, это позволит обеспечить непрерывную работу предприятия по охране объектов.

2.2 Возможность применения энергетического кольца в отдельном населенном пункте на примере г. Благовещенска Амурской области

Город Благовещенск является административным центром Амурской области, население которого примерно составляет 240 тысяч человек. В г. Благовещенске функционируют значимые промышленные предприятия, которым необходимо непрерывное энергообеспечение.

Энергетика города представлена Благовещенской Теплоэлектроцентралей, которая является основной обеспечивающей станцией для промышленных предприятий и населения города. Благовещенская Теплоэлектроцентраль входит в состав ОАО «Дальневосточная генерирующая компания», филиал «Амурская генерация».

Благовещенская Теплоэлектроцентраль является значимым объектом электроэнергетики города, является единственным предприятием, которое передает электроэнергию от производителя к распространителю. Благовещенская Теплоэлектроцентраль оснащает значимые для населения и функционирования города предприятия. Стоит отметить, что функционирование Благовещенской Теплоэлектроцентрали является непрерывным.

На данный момент схема оснащения электроэнергией в городе, представленная в Приложении В, Рисунок В.1, является абсолютно типичной для любого города страны. К Благовещенской Теплоэлектроцентрали присоединены малые подстанции города, они же в свою очередь передают электричество потребителю (объекту предприятия или же населению).

Тем не менее, в случае возникновения аварийной ситуации на подстанции значительная часть города остается без электричества, что в себе несет негативные последствия, как для самого населения, так и для промышленности [33].

Данные факты подтверждаются новостными сводками, по которым в январе 2023 года произошло аварийное отключение электроэнергии в микрорайоне г. Благовещенска без света остались потребители в районе

кольцевой развязки на улице Калинина, в частности, здание ИПК «Приамурье», и жилые дома в сторону микрорайона, не работают несколько светофоров [52].

В июле 2022 года в г. Благовещенске в результате аварии отключилась подстанция «Амур», которая питает электроэнергией центральную часть города. Такое аварийное отключение повлекло за собой остановку работы многих предприятий города [54].

В августе 2022 года из-за обильных осадков произошло отключение отдаленных районов города, таких как Астрахановка, Моховая Падь, район, ограниченный реками Амур и Зея, а также улицы Горького и Чайковского. Света нет и в селе Белогорье, питающемся от подстанции «Силикатная» и находящейся на обслуживании ДРСК [53].

И данные факты, это только малая часть того сколько раз за год происходят аварийные отключения подстанций города, которые влекут за собой последствия в виде отключения светофоров и остановки работы предприятий.

Возникают закономерные вопросы: возможно ли оптимизировать работу подстанций для возможности аварийного переподключения? Возможно ли применить технологию закольцованности?

Если рассматривать данные вопросы можно говорить о том, что такую систему можно применить, оптимизировав процесс работы подстанций и понизив нагрузку путем распределения между ними количества потребителей [39]. Неоспоримо, что данная оптимизация потребует первоначальных затрат, что чревато повышением цен на электроэнергию.

На данный момент г. Благовещенск ничем не отличается от среднестатистического города России, в особенности построения электросетей. Это видно из схемы центральных подстанций города, которые действует на данный момент (Приложение В), а также из типовой системы электроснабжения различных объектов (Приложение Е, Рисунок Е1).

Стоит отметить, что применение данной системы электроснабжения

рассчитано на промышленность; населенные пункты; дачные поселки, а также электротранспорт [29].

Особенностью данной системы является:

- напряжение не выше 110 кВ;
- массовость;
- большое разнообразие режимов потребления;
- преобразование рода тока;
- широко распространены на территории.

Тем не менее, определение границ системы электроснабжения со стороны высшего напряжения трудно, т.к. некоторые элементы могут быть отнесены к элементам энергосистемы, что является недочетом данной системы.

Город Благовещенск является типичным примером по применению данной системы, так как он имеет теплоэлектроцентраль. Плюсами наличия Теплоэлектроцентрали является наличие двух типов энергии, территориальной расположение непосредственно рядом с потребителями, установка любых требуемых параметров, дешевая электроэнергия, соответственно низкие цены на электроэнергию, что является немаловажным фактором применения такой системы [10]. Минусами применения данной технологии является непосредственное расположение Теплоэлектроцентрали в пределах населенного пункта и неблагоприятное влияние на экологию региона.

При изучении линейной схемы подстанций города (Приложение Г, Рисунок Г.1) можно определить, что при выходе из строя одной центральной подстанции, другая подстанция перехватывает ее мощность на себя. Данный факт позволяет оптимально перераспределить мощность вышедшей из строя подстанции, и дает возможность продолжения снабжения электроэнергией потребителя. При этом в случае вывода из строя распределительной подстанции данная особенность пропадает, что ведет к прекращению

функционирования предприятий города и остановку снабжения электроэнергией конечного потребителя [27].

Если рассматривать вопрос по исключению данного минуса применения типовой системы электроснабжения различных объектов, можно предположить, что в случае исключения факта отсутствия закольцованности между подстанциями города поможет избежать остановку снабжения электроэнергией конечного потребителя [44] (Приложение Д, Д.1).

Если предположить действие такой линейной схемы подстанций города (Приложение Д) это позволяет избежать данного недочета, но дает возможность создания иных проблем при вводе в эксплуатацию сетей электроснабжения по данной схеме, а именно: сильно запутанная «паутина» электрокабеля между подстанциями, что не дает возможности создания схемы центральных подстанций города на карте города, а также большие материальные затраты на постройку данной электросистемы [59].

Если рассматривать на примере потребления электроэнергии при функционировании данной схемы можно отметить, что при населении города примерно в 240 тысяч человек (примерное население г. Благовещенска), приблизительное потребление электроэнергии в месяц составит 16,6 миллионов кВт, а в год примерно 200 миллионов кВт. При этом среднее количество тупиковых подстанций составит 500 штук, усредненное значение затрачиваемой мощности на одну подстанцию 630 кВА или 504 кВт, что является собой усредненный коэффициент мощности 0,8 [23].

Важно отметить, что задачи проектирования электрических систем необходимо рассматривать, как задачу, направленную на развитие единой Энергетической системы, ведь неоспорим тот факт, что любое развитие энергетической системы внутри страны в той или иной степени влияет на развитие энергетической системы России в целом. При выполнении проектов энергетических систем необходимо учитывать важность административных и экономических районов. Объединение отдельных объектов энергетической системы может повлиять на работу Энергетической системы России [31].

Исходя из этого, необходимо учитывать, что проектирование таких систем должно положительно сказаться на работе энергосистемы России в целом.

Создание более мощных электрических систем обусловлено их экономическими и техническими преимуществами. Для более полного и рационального использования оборудования необходимо увеличить мощность электрических станций с помощью использования экономичных агрегатов, способствующих также надежности и эффективности передачи электроснабжения потребителю [7].

Выполнение функции передачи энергии и электроснабжения потребителю осуществляется через формирование электрических систем и осуществляется с помощью электрических сетей.

На основании исходных данных, можно решить поставленные задачи путем вычисления по определенным формулам и опираясь на определенные методики. Важно отметить, что задачи, которые ставятся при работе электрических сетей и их проектировании в большинстве случаев не имеют одного решения и возможны несколько путей развития той или иной ситуации [55, 57]. Стоит отметить, что выбор наиболее работоспособной электрической сети и ее проекта основывается в первую очередь на производственной практике, а также путем теоретических и практических расчетов.

Формирование электрических систем осуществляется с помощью электрических сетей, которые выполняют функции передачи энергии и электроснабжения потребителей [29].

Расчетные задачи решаются по определенным формулам по известным методикам на основе необходимых исходных данных. Задачи, которые поставлены в проекте электрической сети, в большинстве случаев не имеют однозначного решения. Выбор наиболее удачного варианта электрической сети производится не только путем теоретических расчетов, но и на основе различных соображений, производственного опыта [23].

Разработаем и рассчитаем часть энергетической системы города (1% от

общей проектируемой распределительной системы города) с включением в нее всех распределительных подстанций, снабжающих электроэнергией потребителей [58]. Месторасположение источника питания (трансформаторная подстанция 35-6 кВ исходящей линии) и распределительных трансформаторных подстанций 6-0,4 кВ указано на рисунке 4. Электрическая сеть расположена в объединенной энергосистеме г. Благовещенска.

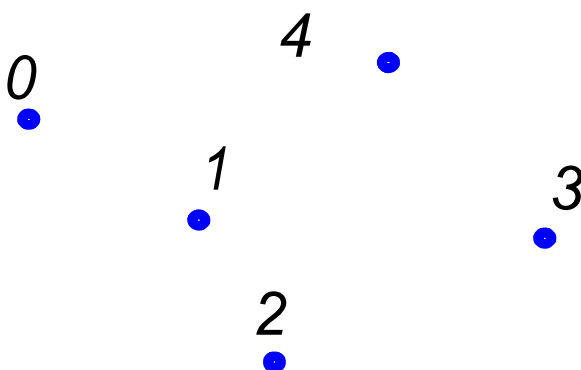


Рисунок 4 – Схема части энергетической системы города

Расстояние между точками:

$$l_{01} = 1,2 \text{ км} ,$$

$$l_{02} = 0,8 \text{ км} ,$$

$$l_{03} = 0,3 \text{ км} ,$$

$$l_{04} = 1,4 \text{ км} ,$$

$$l_{12} = 1,1 \text{ км} ,$$

$$l_{13} = 0,6 \text{ км} ,$$

$$l_{14} = 1,3 \text{ км} ,$$

$$l_{23} = 0,8 \text{ км} ,$$

$$l_{24} = 0,5 \text{ км} ,$$

$$l_{34} = 1,5 \text{ км} .$$

Характеристики трансформаторной подстанции 35-6 кВ исходящей линии и распределительных трансформаторных подстанций 6-0,4 кВ, являющихся источниками питания, представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Характеристика источников питания

Параметр	Активная мощность нагрузки, МВт	Коэффициент мощности	Реактивная мощность нагрузки, Мвар	Полная мощность нагрузок, МВа	Номинальное напряжение, кВ
Источник питания 0	0	0,95	0	0	0
Трансформатор 1	0,5	0,8	0,375	0,625	0,4
Трансформатор 2	0,5	0,8	0,375	0,625	0,4
Трансформатор 3	0,5	0,8	0,375	0,625	0,4
Трансформатор 4	0,5	0,8	0,375	0,625	0,4

Полная мощность нагрузки потребителей S_i рассчитывается, исходя из отношения активной мощности P_i к коэффициенту мощности $\cos \varphi_i$, приведённых в таблице 4.

$$|\dot{S}_i| = \frac{P_i}{\cos \varphi_i} , \quad (37)$$

$$Q_i = \sqrt{|\dot{S}_i|^2 - P_i^2} . \quad (38)$$

Возможные варианты схем электрической сети города представлены на рисунке 5.

Характеристики вариантов основных систем части электрической сети города отображены в таблице 5.

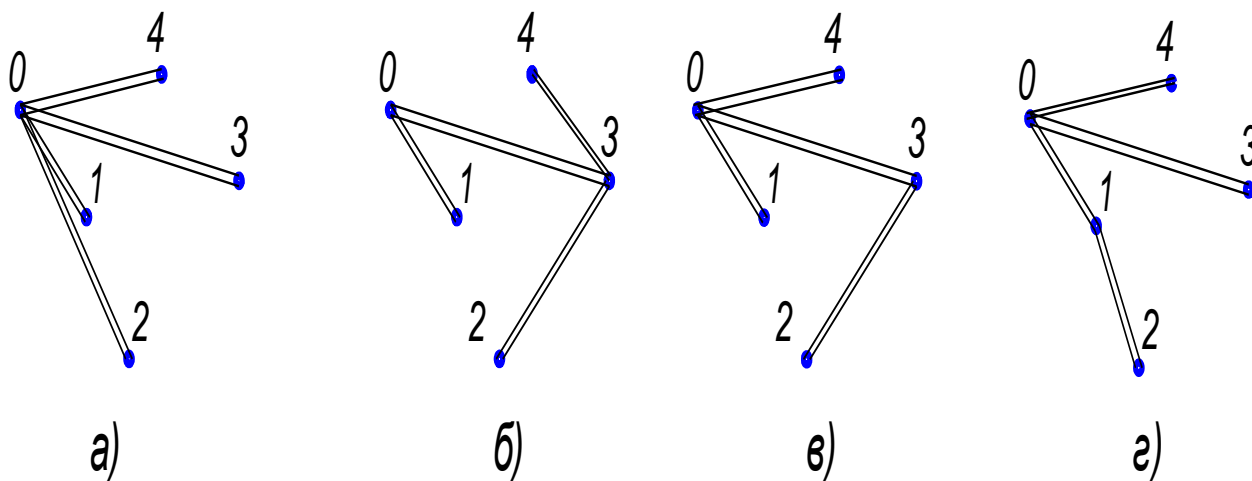


Рисунок 5 – Варианты магистральных схем

Таблица 5 – Характеристика вариантов систем части электрической сети города

Вариант	Участок	Длина линии электропередач, км.	Сумма длин линий электропередач, км.	Контрольные точки	Количество выключателей, шт.	Общее количество выключателей, шт.	Мощность нагрева, МВт	Момент мощности МВт*км	Общий момент мощности МВт*км	Ориентировочная стоимость, тыс. руб.
а)	00	0	3,7	0	9	21	0	0	1,55	13118,15
	01	1,2		1	3		0,5	0,6		
	02	0,8		2	3		0,5	0,4		
	03	0,3		3	3		0,5	0,15		
	04	1,4		4	3		0,5	0,4		
б)	00	0	3,8	0	5	21	0	0	1,9	13119,1
	01	1,2		1	3		0,5	0,6		
	03	0,3		3	7		0,5	0,15		
	23	0,8		2	3		0,5	0,4		
	34	1,5		4	3		0,5	0,75		
в)	00	0	4	0	7	19	0	0	2	11875
	01	1,2		1	3		0,5	0,6		
	12	1,1		2	3		0,5	0,55		
	03	0,3		3	3		0,5	0,15		
	04	1,4		4	3		0,5	0,7		
г)	00	0	3,7	0	7	19	0	0	1,85	11872,15
	01	1,2		1	3		0,5	0,6		
	03	0,3		3	3		0,5	0,15		
	23	0,8		2	3		0,5	0,4		
	04	1,4		4	3		0,5	0,7		

Примем напряжение на всех участках сети равное 6 кВ.

Ориентировочная стоимость одного метра кабельной линии: при напряжении 6 кВ – 9,5 тыс. руб.; при напряжении 0,4 кВ – 3 тыс. руб.

Стоимость одного выключателя: при напряжении 6 кВ – 623 тыс. руб.; при напряении 0,4 кВ – 13,5 тыс. руб.

После анализа характеристик, а также принимая в расчет ориентировочную стоимость монтажа систем части электрической сети города, было принято решение для дальнейших расчетов, производимых в рамках проекта, использовать вариант «Г».

По данным, отраженным в таблице 5, разработаем возможные варианты схем части электрической сети с замкнутым контуром, представленной на рисунке 6.

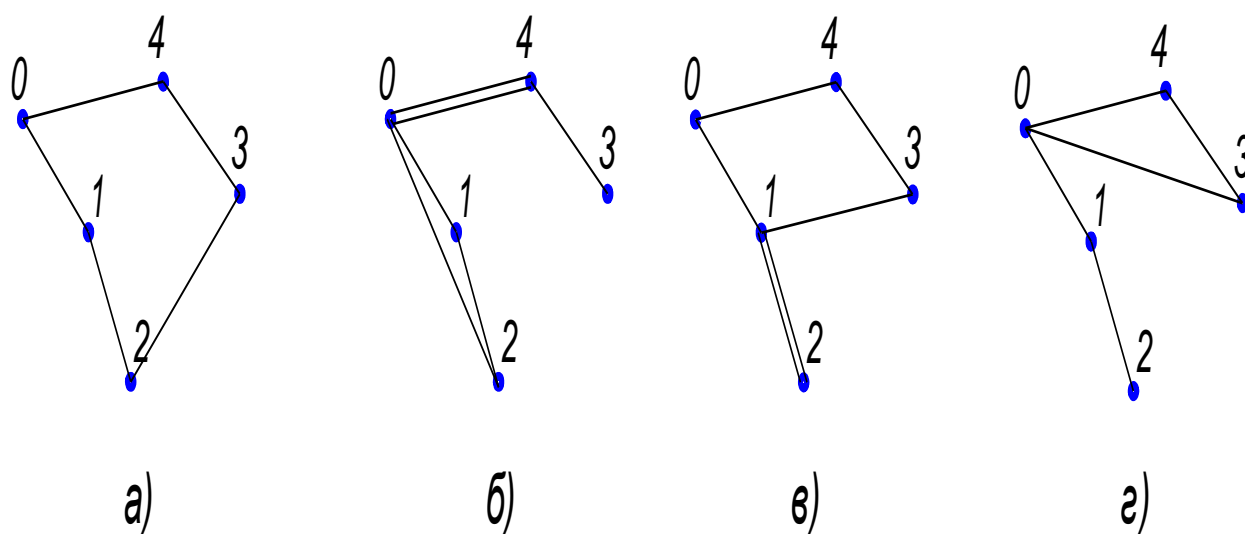


Рисунок 6 – Варианты схем, имеющих замкнутый контур

На основе сводных данных, отображенных в таблице 6, произведем предварительный анализ и выбор вариантов схем исполнения части электрической сети города, имеющих замкнутый контур.

Таблица 6 – Характеристика вариантов схем электрической сети города, имеющих закрытый контур

Вариант	Участок	Длина линии электропередач, км.	Сумма длин линий электропередач, км.	Контрольные точки	Количество выключателей, шт.	Общее количество выключателей, шт.	Ориентировочная стоимость, тыс. руб.
а)	01	1,2	6	0	3	15	220,5
	12	1,1		1	3		
	23	0,8		2	3		
	34	1,5		3	3		
	04	1,4		4	3		
б)	01	1,2	6	0	5	17	247,5
	12	1,1		1	3		
	02	0,8		2	3		
	04	1,4		3	3		
	34	1,5		4	3		
в)	01	1,2	5,5	0	5	17	246
	12	1,1		1	3		
	04	1,4		3	3		
	34	1,5		4	3		
	03	0,3		2	3		
г)	03	0,3	4,9	0	5	17	244,2
	34	1,5		1	3		
	01	1,2		2	3		
	12	1,1		3	3		
	02	0,8		4	3		

Для дальнейших расчетов оставляем вариант «Б», несмотря на то, что вариант «Г» финансово немного выгоднее, в случае аварии на линии на отрезке 03 он будет иметь более высокое значение падения напряжения в аварийном режиме, что непозволительно.

Произведем приблизительный расчет потокораспределения в электрической сети города.

На основе выбранного варианта «Б» разработаем схему части электрической сети города в базовом режиме с указанием направлений потоков мощности на отрезках сети (рисунок 7).

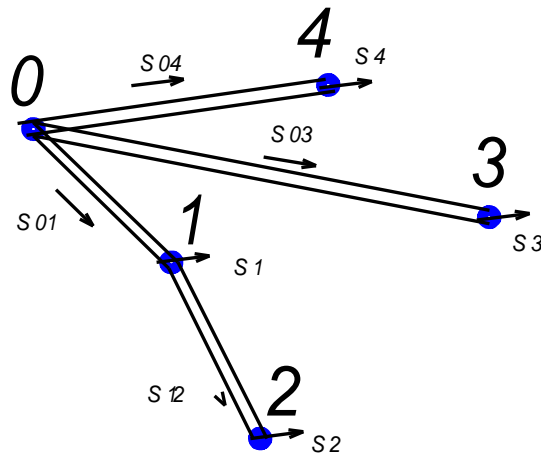


Рисунок 7 – Нормальный режим

Произведем приблизительный расчет потокораспределения в части электрической сети города.

Произведем расчет потоков мощности для отрезков части электрической сети города с нормальными параметрами.

$$\dot{S}_{np12} = \frac{\dot{S}_2}{2}, \quad (39)$$

$$\dot{S}_{np12} = \frac{0,5 + j0,38}{2} = 0,25 + j0,19 \text{ МВА},$$

$$\dot{S}_{np01} = \frac{\dot{S}_1 + \dot{S}_2}{2}, \quad (40)$$

$$\dot{S}_{np01} = \frac{0,5 + j0,19 + 0,25 + j0,38}{2} = 0,375 + j0,285 \text{ МВА},$$

$$\dot{S}_{np03} = \frac{\dot{S}_3}{2}, \quad (41)$$

$$\dot{S}_{np03} = \frac{0,5 + j0,38}{2} = 0,25 + j0,19 \text{ МВА},$$

$$\dot{S}_{np04} = \frac{\dot{S}_4}{2}, \quad (42)$$

$$\dot{S}_{np04} = \frac{0,5 + j0,38}{2} = 0,25 + j0,19 \text{ MVA}$$

Предположим, что один из отрезков линии электропередач выведен из строя в результате аварийной ситуации на подстанции. С учетом вводных данных разработаем схему части электрической сети города с расстановкой направлений потоков мощности на отрезках сети (рисунок 8).

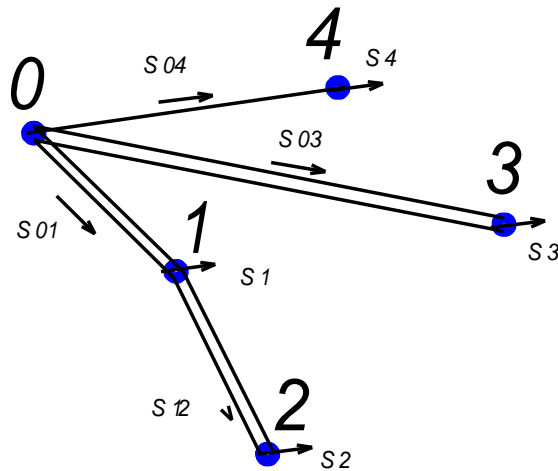


Рисунок 8 – Послеаварийный режим

Произведем расчет потоков мощности для отрезков сети в режиме восстановления после аварии.

$$\dot{S}_{np12} = \dot{S}_2 = 2\dot{S}_{12}, \quad (43)$$

$$\dot{S}_{np12} = 0,5 + j0,38 \text{ MVA}$$

$$\dot{S}_{np01} = \dot{S}_1 + \dot{S}_2 = 2\dot{S}_{01}, \quad (44)$$

$$\dot{S}_{np01} = (0,5 + j0,38) + \frac{(0,5 + j0,38)}{2} = 0,75 + j0,57 \text{ MVA}$$

$$\dot{S}_{np03} = \dot{S}_3 = 2\dot{S}_{03}, \quad (45)$$

$$\begin{aligned} \dot{S}_{np03} &= 0,5 + j0,38 \text{ MVA} , \\ \dot{S}_{np04} &= \dot{S}_4 , \\ \dot{S}_{np04} &= 0,5 + j0,38 \text{ MVA} . \end{aligned} \tag{46}$$

Произведем расчет потоков распределения в части электрической сети города в нормальном режиме.

Разработаем схему части электрической сети города, имеющей закрытый контур в базовом режиме с указанием направлений потоков мощности на отрезках сети (рисунок 9).

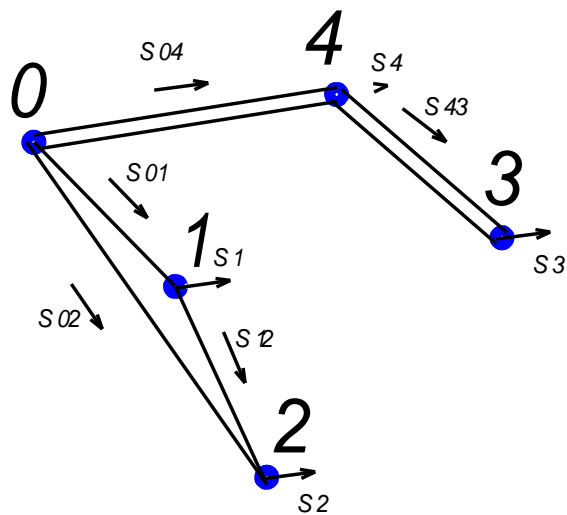


Рисунок 9 – Нормальный режим

В соответствии с рисунком 9 произведем необходимые расчеты для определения значений потоков мощности, передающихся по отрезкам части электрической сети города, имеющей закрытый контур.

В первую очередь определим значение мощности, передающейся через радиальный участок 043.

$$\dot{S}_{04} = \frac{\dot{S}_4 + \dot{S}_3}{2} , \tag{47}$$

$$\dot{S}_{04} = \frac{0,5 + j0,38 + 0,5 + j0,38}{2} = 1 + j0,76 \text{ MVA} ,$$

$$\dot{S}_{нр43} = \frac{\dot{S}_3}{2} ,$$

$$\dot{S}_{нр43} = \frac{0,5 + j0,38}{2} = 0,25 + j0,19 \text{ MVA} .$$
(48)

Далее, по правилу электрических моментов необходимо рассчитать потоки мощности для основных отрезков части электрической сети города 01 и 02:

$$\dot{S}_{01} = \frac{\dot{S}_1 \cdot (l_{12} + l_{02}) + \dot{S}_2 \cdot l_{02}}{l_{01} + l_{12} + l_{02}} ,$$
(49)

$$\dot{S}_{01} = \frac{(0,5 + j0,38) \cdot (1,1 + 0,8) + (0,5 + j0,38) \cdot 0,8}{1,2 + 1,1 + 0,8} = 0,44 + j0,33 \text{ MVA} ,$$

$$\dot{S}_{02} = \frac{\dot{S}_2 \cdot (l_{12} + l_{01}) + \dot{S}_1 \cdot l_{01}}{l_{01} + l_{12} + l_{02}} ,$$
(50)

$$\dot{S}_{02} = \frac{(0,5 + j0,38) \cdot (1,1 + 1,2) + (0,5 + j0,38) \cdot 1,2}{1,2 + 1,1 + 0,8} = 0,56 + j0,43 \text{ MVA} .$$

И наконец, опираясь на первый закон Кирхгофа, рассчитаем потоки мощности для оставшегося промежуточного отрезка сети 12:

$$\dot{S}_{нр12} = \dot{S}_{нр01} - \dot{S}_1 = (0,75 + j0,57) - (0,5 + j0,38) = 0,25 + j0,19 \text{ MVA} ,$$
(51)

$$\begin{aligned} \dot{S}_{нр01} + \dot{S}_{нр02} &= \dot{S}_1 + \dot{S}_2 \Rightarrow (0,75 + j0,57) + (0,56 + j0,43) = \\ &= (0,5 + j0,38) + (0,5 + j0,38) = 1,31 + j1 = 1 + j0,76. \end{aligned}$$

Разработаем схему части электрической сети, имеющей закрытый

контур в послеаварийном режиме (рисунок 10).

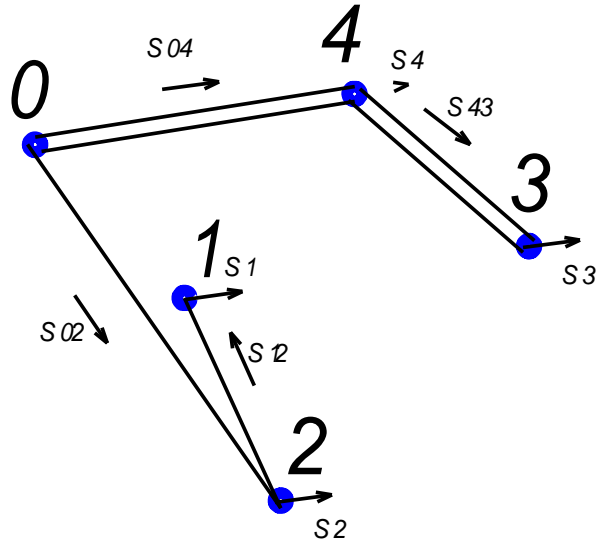


Рисунок 10 – Послеаварийный режим

В соответствии со схемой, представленной на рисунке 10, отрезок 01 является наиболее загруженным головным отрезком в базовом режиме. Для дальнейшего расчета потоков мощности для отрезков электрической сети города, имеющей закрытый контур, предположим, что на отрезке 01 произошла авария.

$$\dot{S}_{34} = \frac{\dot{S}_3}{2}, \tag{52}$$

$$\dot{S}_{34} = \frac{0,5 + j0,38}{2} = 0,25 + j0,19 \text{ MVA},$$

$$\dot{S}_{02naav} = \dot{S}_2 + \dot{S}_1, \tag{53}$$

$$\dot{S}_{02naav} = (0,5 + j0,38) + (0,5 + j0,38) = 1 + j0,76 \text{ MVA},$$

$$\dot{S}_{12} = \dot{S}_1, \tag{54}$$

$$\dot{S}_{12} = 0,5 + j0,38 \text{ MVA}.$$

По формуле Стилла при базисном напряжении 6кВ для каждого отрезка части электрической сети города, имеющей закрытый контур, рассчитаем номинальное напряжение:

$$U_{ном} = 4,34 \sqrt{l_{уч} + 16P_{уч}}, \quad (55)$$

$$U_{ном01} = 4,34 \sqrt{1,2 + 16 \cdot 0,375} = 11,65 \text{кВ},$$

$$U_{ном12} = 4,34 \sqrt{1,1 + 16 \cdot 0,25} = 9,8 \text{кВ},$$

$$U_{ном01} = 4,34 \sqrt{0,3 + 16 \cdot 0,25} = 9 \text{кВ},$$

$$U_{ном01} = 4,34 \sqrt{1,4 + 16 \cdot 0,25} = 10,1 \text{кВ}.$$

Для всех отрезков напряжение округляем до сотых.

$$U_{ном} = 0,4 \text{кВ}, U_{ном} = 6 \text{кВ}$$

Сравним полученные значения со значениями допустимой суммарной потери напряжения в сети в нормальном и послеаварийном режимах

Для 0,4 кВ $r_0=0,3$ Ом, $x_0=0,4$ Ом.

При $U_{ном}=0,4$ кВ

$$\Delta U_{допнр} = \frac{7,5}{100} U_{ном} = 0,075 \cdot 0,4 = 0,03 \text{кВ}$$

При $U_{ном}=6$ кВ

$$\Delta U_{допнр} = \frac{7,5}{100} U_{ном} = 0,075 \cdot 6 = 0,45 \text{кВ},$$

$$\Delta U = \frac{P \cdot r_0 \cdot l + Q \cdot x_0 \cdot l}{U_{ном}}, \quad (56)$$

$$\Delta U_{012нр} = \frac{\Delta U_{01нр} + \Delta U_{12нр}}{U_{ном}}, \quad (57)$$

$$\Delta U_{012_{нр}} = \frac{0,25 \cdot 0,3 \cdot 1,2 + 0,19 \cdot 0,4 \cdot 1,1}{0,4} = 0,43 > U_{\text{доп}} = 0,03 \text{кВ},$$

$$\Delta U_{03} = \frac{0,25 \cdot 0,3 \cdot 0,3 + 0,19 \cdot 0,4 \cdot 0,3}{0,4} = 0,11 \text{кВ} > U_{\text{доп}} = 0,03 \text{кВ},$$

$$\Delta U_{04} = \frac{0,25 \cdot 0,3 \cdot 1,4 + 0,19 \cdot 0,4 \cdot 1,4}{0,4} = 0,52 \text{кВ} > U_{\text{доп}} = 0,03 \text{кВ},$$

$$\Delta U_{03_{нр}} = \frac{0,25 \cdot 0,3 \cdot 0,3 + 0,19 \cdot 0,4 \cdot 0,3}{6} = 0,03 \text{кВ} = \Delta U_{\text{доп}} = 0,03 \text{кВ},$$

$$\Delta U_{04} = \frac{0,25 \cdot 0,3 \cdot 1,4 + 0,19 \cdot 0,4 \cdot 1,4}{6} = 0,03 = \text{кВ} \Delta U_{\text{доп}} = 0,03 \text{кВ}.$$

Так как полученные результаты удовлетворяют условию и не превышают допустимые значения суммарной потери напряжения, то напряжение равное 6 кВ может быть использовано для части электрической сети города.

Проверим, может ли использоваться напряжение равное 6 кВ в послеаварийном режиме:

$$\Sigma \Delta U_{012_{авар}} = \Delta U_{01} + \Delta U_{12} = 2 \cdot \Delta U_{01} + 2 \cdot \Delta U_{12} = 2 \cdot (\Delta U_{01} + \Delta U_{12}), \quad (58)$$

$$\Sigma \Delta U_{012_{авар}} = 2 \cdot 0,17 = 0,34 \text{кВ} < 7,5\% U_{\text{ном}} = 0,45$$

Произведенные расчеты удовлетворяют условиям допустимой суммарной потери напряжения в обоих режимах, следовательно, напряжение равное 6 кВ может применяться на всех отрезках части электрической сети города.

Произведем расчеты для определения номинального напряжения для части электрической сети города с закрытым контуром.

В силу того, что, при закольцованной электросистеме, напряжение одинаковое на всех отрезках, номинальное напряжение следует рассчитывать

по самому загруженному отрезку сети.

$$U_{ном} = 4,34 \sqrt{l_{уч} + 16P_{уч}}, \quad (59)$$

$$\Delta U = \frac{P \cdot r_0 \cdot l + Q \cdot x_0 \cdot l}{U_{ном}}, \quad (60)$$

$$U_{ном04} = 4,34 \sqrt{1,4 + 16 \cdot 1} = 18,1 \text{ кВ},$$

$$U_{ном34} = 4,34 \sqrt{1,3 + 16 \cdot 0,25} = 10 \text{ кВ}.$$

Для 0120 произведем расчет по наиболее загруженному отрезку 01:

$$U_{ном01} = 4,34 \sqrt{1,2 + 16 \cdot 0,44} = 12,5 \text{ кВ}.$$

Выясним значения допустимой суммарной потери напряжения при напряжении в 0,4 кВ и 0,6 кВ в сети нормальном и послеаварийном режимах (напряжение округляем до сотых).

При $U_{ном} = 0,4 \text{ кВ}$ $\Delta U_{допнр} = 0,03 \text{ кВ}$:

При $U_{ном} = 0,6 \text{ кВ}$ $\Delta U_{допнр} = 0,45 \text{ кВ}$, $\Delta U_{допнав} = 0,2 \cdot 6 = 0,12 \text{ кВ}$.

Сравним полученные значения со значениями допустимой суммарной потери напряжения в сети в нормальном режиме:

$$\Delta U_{01} = \frac{0,44 \cdot 0,3 \cdot 1,2 + 0,33 \cdot 0,4 \cdot 1,2}{0,4} = 9,7 \text{ кВ} > \Delta U_{доп} = 0,03 \text{ кВ}.$$

В разработанной схеме части электрической сети города с закрытым контуром базовое напряжение равное 0,4 кВ не может быть использовано в силу того, что результаты расчетов выше допустимых значений суммарной потери напряжения.

Предположим, что базисное напряжение отрезка сети 043 равно 0,4 кВ.

Сравним полученные значения со значениями допустимой суммарной потери напряжения в сети в нормальном режиме:

$$\Delta U = \frac{P \cdot r_0 \cdot l + Q \cdot x_0 \cdot l}{U_{ном}}, \quad (61)$$

$$\Sigma \Delta U_{043нр} = \Delta U_{04нр} = \frac{0,5 \cdot 0,3 \cdot 1,1 + 0,38 \cdot 0,4 \cdot 1,1}{0,4} = 5,2 \text{кВ} \geq 15\% U_{ном} = 0,06 \text{кВ}.$$

В разработанной схеме части электрической сети города с закрытым контуром на участке 043 базовое напряжение равное 0,4 кВ не может быть использовано в силу того, что результаты расчетов выше допустимых значений суммарной потери напряжения.

Предположим, что базисное напряжение отрезка сети 043 равно 6 кВ.

Сравним полученные значения со значениями допустимой суммарной потери напряжения в сети в нормальном режиме:

$$\Sigma \Delta U_{043нр} = \Delta U_{04нр} = \frac{0,5 \cdot 0,3 \cdot 1,1 + 0,38 \cdot 0,4 \cdot 1,1}{6} = 0,34 \text{кВ} \leq 15\% U_{ном} = 0,9 \text{кВ}.$$

Результаты, полученные в ходе расчетов, удовлетворяют условию и меньше значений допустимой суммарной потери напряжения, следовательно, напряжение равное 6 кВ можем принять как номинальное на кольцевом участке части электрической сети города с закрытым контуром.

Для дальнейших расчетов балансов активной и реактивной мощности электрической сети необходимо использовать следующие коэффициенты.

Коэффициент одновременности потребления активной мощности

$$k_{oa} = 0,95:$$

$$\Delta P_{лэн\Sigma} + \Delta P_{тр\Sigma} = 0,08 * P_{нагр\Sigma}. \quad (62)$$

Отсюда резервная активная мощность сети равна:

$$P_{рез} = 0,1 * P_{нагр\Sigma} . \quad (63)$$

Коэффициент одновременности потребления реактивной мощности
 $k_{op} = 0,95$:

$$\Delta Q_{тр\Sigma} = 0,1 * \left| S_{нагр\Sigma} \right| . \quad (64)$$

Отсюда резервная реактивная мощность сети равна:

$$Q_{рез} = 0,1 * Q_{нагр\Sigma} , \quad (65)$$

$$Q_{с\Sigma} = \Delta Q_{лэн\Sigma} . \quad (66)$$

Используя полученные выражения можно вывести уравнение для расчета баланса активной мощности в электрической сети:

$$\begin{aligned} P_{сети} &= k_{oa} \cdot P_{нагр\Sigma} + \Delta P_{лэн\Sigma} + \Delta P_{тр\Sigma} + P_{рез} = \\ &= 0,95 \cdot P_{нагр\Sigma} + 0,08 \cdot P_{нагр\Sigma} + 0,1 \cdot P_{нагр\Sigma} = 1,13 \cdot P_{нагр\Sigma} . \end{aligned} \quad (67)$$

Сумма активных мощностей нагрузок, запитанных от сети равна:

$$P_{нагр\Sigma} = \Sigma P_{нагр i} , \quad (68)$$

$$P_{нагр\Sigma} = 0,5 + 0,5 + 0,5 + 0,5 = 2 \text{ МВт}.$$

Произведем расчет значений активной мощности электрической сети, которые необходимы для реализации потребностей потребителей города в электрической энергии:

$$P_{сети} = 1,13 * 2 = 2,26 \text{ МВт}$$

Для дальнейших расчетов предположим, что номинальной мощности источника питания $P_{ин}$ хватает для восполнения потребностей сети:

$$P_{ин} = P_{сети} = 2,26 \text{ МВт}$$

Значение реактивной мощности, которую источник питания подает в сеть, рассчитывается по выражению:

$$Q_{ин} = P_{ин} * \text{tg} \varphi_{ин}, \quad (69)$$

$$Q_{ин} = 2,26 \cdot 0,33 = 0,75 \text{ Мвар},$$

$$\cos \varphi_{ин} = 0,95 \Rightarrow \text{tg} \varphi_{ин} = 0,33$$

На основе полученных данных составим уравнение для расчета баланса реактивной мощности в части электрической сети города:

$$Q_{сети} = k_{ор} \cdot Q_{нагр\Sigma} + \Delta Q_{лэн\Sigma} + \Delta Q_{тр} + Q_{рез} - Q_{с\Sigma}, \quad (70)$$

$$Q_{нагр\Sigma} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4, \quad (71)$$

$$Q_{нагр\Sigma} = 0,375 + 0,375 + 0,375 + 0,375 = 1,5 \text{ Мвар},$$

$$\Delta Q_{лэн\Sigma} = \Delta Q_{01} + \Delta Q_{12} + \Delta Q_{03} + \Delta Q_{04}, \quad (72)$$

$$\Delta Q_{01} = \left(\frac{2 \cdot |S_{01нр}|}{U_{ном}} \right)^2 \cdot \frac{x_0 \cdot l_{01}}{2}, \quad (73)$$

$$\Delta Q_{01} = \left(\frac{2\sqrt{0,375^2 + 0,285^2}}{6} \right)^2 \cdot \frac{0,4 \cdot 1,2}{2} = 0,001 \text{ Мвар},$$

$$\Delta Q_{12} = \left(\frac{2\sqrt{0,25^2 + 0,19^2}}{6} \right)^2 \cdot \frac{0,4 \cdot 1,1}{2} = 0,012 \text{ Мвар},$$

$$\Delta Q_{03} = \left(\frac{2\sqrt{0,25^2 + 0,19^2}}{6} \right)^2 \cdot \frac{0,4 \cdot 0,3}{2} = 0,003 \text{ Мвар},$$

$$\Delta Q_{04} = \left(\frac{2\sqrt{0,25^2 + 0,19^2}}{6} \right)^2 \cdot \frac{0,4 \cdot 1,4}{2} = 0,015 \text{ Мвар},$$

$$\Delta Q_{лэн\Sigma} = 0,001 + 0,012 + 0,003 + 0,015 = 0,031 \text{ Мвар},$$

$$\Delta Q_{тр\Sigma} = \Delta Q_{тр1} + \Delta Q_{тр2} + \Delta Q_{тр3} + \Delta Q_{тр4}, \quad (74)$$

$$\Delta Q_{три} = 0,1 \cdot |S_{нагр}|, \quad (75)$$

$$\Delta Q_{тр\Sigma} = 0,1 \cdot |S_1| + 0,1 \cdot |S_2| + 0,1 \cdot |S_3| + 0,1 \cdot |S_4| = 0,1 \cdot (|S_1| + |S_2| + |S_3| + |S_4|), \quad (76)$$

$$\Delta Q_{тр\Sigma} = 0,1 \cdot (0,625 + 0,625 + 0,625 + 0,625) = 2,5 \text{ Мвар},$$

$$Q_{рез} = 0,1 \cdot Q_{нагр\Sigma}, \quad (77)$$

$$Q_{рез} = 0,1 \cdot 1,5 = 0,15 \text{ Мвар},$$

$$Q_{с\Sigma} = \Delta Q_{лэн\Sigma} = 0,031 \text{ Мвар},$$

$$Q_{сети} = 0,95 \cdot 1,5 + 0,031 + 0,25 + 0,15 - 0,031 = 1,825 \text{ Мвар}.$$

По подобию рассчитаем баланс реактивной мощности в части электрической сети города с закрытым контуром.

$$Q_{сети} = k_{ор} \cdot Q_{нагр\Sigma} + \Delta Q_{лэн\Sigma} + \Delta Q_{тр} + Q_{рез} - Q_{с\Sigma}, \quad (78)$$

$$Q_{нагр\Sigma} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4, \quad (79)$$

$$Q_{нагр\Sigma} = 0,38 + 0,38 + 0,38 + 0,38 = 1,52 \text{ Мвар},$$

$$\Delta Q_{лэн\Sigma} = \Delta Q_{04} + \Delta Q_{43} + \Delta Q_{01} + \Delta Q_{12} + \Delta Q_{02}, \quad (80)$$

$$\Delta Q_{04} = \left(\frac{2\sqrt{1^2 + 0,76^2}}{6} \right)^2 \cdot \frac{0,4 \cdot 1,2}{2} = 0,063 \text{ Мвар},$$

$$\Delta Q_{43} = \left(\frac{2\sqrt{0,25^2 + 0,19^2}}{6} \right)^2 \cdot \frac{0,4 \cdot 1,3}{2} = 0,012 \text{ Мвар},$$

$$\Delta Q_{01} = \left(\frac{\sqrt{0,44^2 + 0,33^2}}{6} \right)^2 \cdot 0,4 \cdot 1,2 = 0,044 \text{ Мвар},$$

$$\Delta Q_{12} = \left(\frac{\sqrt{0,25^2 + 0,19^2}}{6} \right)^2 \cdot 0,4 \cdot 1,1 = 0,023 \text{ Мвар},$$

$$\Delta Q_{02} = \left(\frac{\sqrt{0,56^2 + 0,43^2}}{6} \right)^2 \cdot 0,4 \cdot 0,8 = 0,038 \text{ Мвар},$$

$$\Delta Q_{лэн\Sigma} = 0,063 + 0,012 + 0,044 + 0,023 + 0,038 = 0,18 \text{ Мвар},$$

$$\Delta Q_{тр\Sigma} = \Delta Q_{тр1} + \Delta Q_{тр2} + \Delta Q_{тр3} + \Delta Q_{тр4}, \quad (81)$$

$$\Delta Q_{три} = 0,1 \cdot |S_{нагр}|, \quad (82)$$

$$\Delta Q_{тр\Sigma} = 0,1 \cdot |S_1| + 0,1 \cdot |S_2| + 0,1 \cdot |S_3| + 0,1 \cdot |S_4| = 0,1 \cdot (|S_1| + |S_2| + |S_3| + |S_4|), \quad (83)$$

$$\Delta Q_{тр\Sigma} = 0,1 \cdot (0,625 + 0,625 + 0,625 + 0,625) = 0,25 \text{ Мвар},$$

$$Q_{рез} = 0,1 \cdot Q_{нагр\Sigma}, \quad (84)$$

$$Q_{рез} = 0,1 \cdot 1,52 = 0,152 \text{ Мвар},$$

$$Q_{c\Sigma} = \Delta Q_{лэн\Sigma} = 0,18 \text{ Мвар},$$

$$Q_{сети} = 0,95 \cdot 1,52 + 0,18 + 0,25 + 0,152 - 0,18 = 2,116 \text{ Мвар}.$$

В результате работы спроектирована часть электрической сети города с открытым контуром и закрытым контуром. На основании данных, полученных в результате расчетов, как окончательный вариант примем часть электрической сети города с открытым контуром напряжением 0,4 кВ. Это решение обосновано технико-экономическими расчетами.

При этом необходимо учитывать тот факт, что при разработке схемы и производстве расчетов за основу взята только 1/100 часть всей энергосистемы города, следовательно, закольцованность тупиковых подстанций является трудозатратой, которая требует больших финансовых вложений, а соответственно повышения цен на электроэнергию для конечного потребителя. Применение данной технологии на больших населенных пунктах, у которых сложилась экономическая составляющая, является не целесообразным.

Тем не менее, данная схема может быть задействована при строительстве новых промышленных объектов, промышленных городов, а также в малых населенных пунктах. Данная схема учитывает факторы возникновения аварийных ситуаций, а также плановых профилактических работ, замену вышедшей из строя оборудования, так как применение закольцованности подстанций позволит создание непрерывной подачи электроэнергии до потребителя, что в конечном итоге положительной скажется на развивающейся экономике.

Таким образом, применение энергетического кольца в более малых масштабах направлено на обеспечение непрерывной подачи электроэнергии на различные объекты, обеспечение непрерывной работы объектов и их функционирования в целом.

Закольцованность объектов предприятия позволяет своевременно производить ремонт электрооборудования необходимы для функционирования объекта предприятия, а также непрерывной функционирование предприятия. Также применение энергетического кольца позволяет увеличить работоспособность «предприятия», соответственно увеличить его доходы.

Применение энергетического кольца в микросфере является одним из возможных этапов развития электроэнергетики в стране, которая в свою очередь может послужить толчком для нового развития электросетей.

Применение энергетического кольца в условиях объектов одного предприятия позволяет оптимизировать процесс работы подстанций, обеспечить непрерывную подачу электроэнергии на объекты, своевременно производить ремонт и замену электрооборудования необходимого для работы подстанций.

Стоит отметить, что закольцованность тупиковых подстанций в условиях города является трудозатратой, которая требует больших финансовых вложений, а соответственно повышения цен на электроэнергию для конечного потребителя. Применение данной технологии на больших населенных пунктах, у которых сложилась экономическая составляющая является не целесообразным.

Тем не менее, данная схема может быть задействована при строительстве новых промышленных объектов, промышленных городов, а также в малых населенных пунктах. Данная схема учитывает факторы возникновения аварийных ситуация, а также плановых профилактических работ, замену вышедшей из строя оборудования, так как применение закольцованности подстанций позволит создание непрерывной подачи электроэнергии до потребителя, что в конечном итоге положительной скажется на развивающейся экономике.

Заключение

Единая энергетическая система России – это один из значимых объектов электроэнергетики страны. Изучая историю становления энергетической системы страны, можно понять, что она представляет собой огромный комплекс электростанций и электрических сетей, объединенный единым централизованным управлением.

Такой подход к электроэнергетики позволяет рационализировать использование энергоресурсов, повысить экономичность и надежность объектов электроснабжения, объектов национальной экономики.

Важно отметить, что Россия это одна из крупнейших стран мира, которая полностью обеспечена топливно-энергетическими ресурсами. Мало того, что она является страной, полностью обеспечивающей энергоресурсами свое население, так она еще является одной из крупнейших стран по добычи и экспорту энергоресурсов в другие страны.

На данный момент в нашей стране используется только несколько видов энергоресурсов, одним из важнейших является электроэнергия, которая является неотъемлемой частью жизни потребителя. Как всем известно, энергетические системы, а в частности, электричество прошли большой путь развития в истории человека.

Изучая историю развития электроэнергетики России, можно выделить несколько этапов:

- дореволюционный – этап, который был направлен на всеобщую электрификацию. В связи с политическим и идеологическими проблемами реализация плана электрификации в Российской империи чаще всего не доходила до своего логического завершения;
- послереволюционный – разработка Государственного плана электрификации советской России. Разработка Государственного плана электрификации советской России послужило основополагающим этапом становления электроэнергетики в России;

- выделение больших энергосистем, таких как объединенное диспетчерское управление энергосистемы Урала. Дальнейшее развитие энергосистемы было обусловлено созданием отдельных центров управления большими энергосистемами;
- создание Единой энергетической системы России, выделение двух зон Единой энергетической системы России.

Единая энергетическая система России на данный момент времени является неотъемлемой частью современной жизни. Она представляется собой совокупность электроэнергетических объектов, которые связаны между собой производственными и имущественными отношениями, а также процессом производства и передачи электроэнергии в условиях централизованного оперативно-диспетчерского управления.

Стоит отметить, что на территории России для функционирования электростанций используются различные природные запасы топлива, из-за этого электростанции делятся на тепловые и атомные, а также есть гидростанции. В работе Единой энергетической системы России в большей степени используются гидростанции, так как они являются наиболее оптимальными для эксплуатации.

Одной из целей создания и развития Единой энергетической системы является обеспечение надежного и экономичного электроснабжения потребителей на территории России с максимально возможной реализацией преимуществ параллельной работы энергосистем.

Перед работой Единой энергетической системы стоит несколько важнейших задач, такие как:

- оптимизация работы объединенных энергетических систем страны,
- централизация управления объединенными энергетическими системами,
- улучшение передачи электроэнергии в отдаленные районы,
- бесперебойная подача электроэнергии во все сферы жизнедеятельности,

- взаимозаменяемость Объединенной энергетической системы при возникновении чрезвычайных и аварийных ситуациях,
- модернизация станции без прерывания энергообеспечения,
- снижение суммарной установленной мощности электростанций за счет совмещения максимумов нагрузки энергосистем,
- сокращение резервной мощности на электростанциях,
- рациональное использование располагаемых первичных энергоресурсов с учетом изменяющейся топливной конъюнктуры,
- удешевление энергетического строительства и улучшение экологической ситуации.

Охват большой территории, восьмичасовых поясов, а также различные климатические условия выступают особенностями, при которых формируются проблемы работы Единой энергетической системы России, а также разделение на две основные обособленные зоны.

В связи с обширностью поставленных задач перед электроэнергетикой вопросы решения выявленных проблем должен стать системным и направленным на улучшение показателей эксплуатации электрооборудования и электростанций. Разработка новой технической политики может быть направлена на снижение электропотерь при передаче и распределении электроэнергии. Для улучшения показателей эксплуатации электрооборудования и электростанций и снижение потерь при передаче электроэнергии необходим рациональный подход в строительстве новых электросетей.

Одним из дальнейших вариантов развития энергетической системы России и Единого энергетического кольца может выступать закольцованность энергетических подстанций в более мелких масштабах. То есть, применение единого кольца в условиях одного города или области. Таким образом, перед электроподстанциями одного субъекта (области или города) будут стоять, примерно, те же задачи, что и перед Единой энергетической системы России.

Единая энергетическая системы России является неотъемлемой частью

развития энергетики России, которая в свою очередь направлена на оптимизацию работы объединенных энергетических систем. Единая энергетическая система России на данный момент является уникальным централизованным объединением, которое не имеет аналогов. Применение диспетчерского и автоматического управления Единой энергетической системы России и Объединенная энергетическая система показала высокую эффективность. За последние пол века на территории России отсутствовали глобальные аварийные сбои, такие как произошедшие в Соединенных Штатах Америки, Канаде и ряде стран Европы. Для осуществления поставленных задач перед Единой энергетической системой России необходимо введение новых генерирующих мощностей, техническое оснащение Объединенной энергетической системы.

Электроэнергетика нашей страны неоспоримо высокоразвитая, тем не менее, любой деятельности нет предела развития, тоже касается и электроэнергетики. Важно отметить, что Единая энергетическая система распространяется на крупные станции, которые обеспечивают энергией регионы. Хочется отметить, что применение данного подхода к более малым объектам также возможно, но возникает закономерный вопрос: насколько применение такой системы в малых масштабах является экономичным?

Применение энергетического кольца в более малых масштабах направлено на обеспечение непрерывной подачи электроэнергии на различные объекты, обеспечение непрерывной работы объектов и их функционирования в целом.

Закольцованность объектов предприятия позволяет своевременно производить ремонт электрооборудования необходимы для функционирования объекта предприятия, а также непрерывной функционирование предприятия. Также применение энергетического кольца позволяет увеличить работоспособность «предприятия», соответственно увеличить его доходы.

Применение энергетического кольца в микросфере является одним из возможных этапов развития электроэнергетики в стране, которая в свою очередь может послужить толчком для нового развития электросетей.

Применение энергетического кольца в условиях объектов одного предприятия позволяет оптимизировать процесс работы подстанций, обеспечить непрерывную подачу электроэнергии на объекты, своевременно производить ремонт и замену электрооборудования необходимого для работы подстанций.

Стоит отметить, что применение закольцованности на предприятии изначально будет финансово затратным, при этом при работе такого предприятия закольцованность его объектов позволит реализовать непрерывную работу объектов предприятия, что в конечном итоге приведет к увеличению прибыли.

Таким образом, применение закольцованности на предприятии позволяет оптимизировать его работу, сократить нагрузку на подстанции и дает возможность проведения ремонтных работ без остановки работы предприятия.

При рассмотрении вопроса о применении технологии единого кольца в малых масштабах создает множество как экономических, так и физических затрат, тем не менее, применение данной технологии в конечном итоге позволяет оптимизировать процесс работы энергоснабжающих организаций.

Важно заметить, что в настоящее время в городах России подстанции работают обособлено, и в аварийных ситуациях требует затраты времени для обеспечения населения электроэнергией.

Стоит отметить, что закольцованность тупиковых подстанций в условиях города является трудозатратой, которая требует больших финансовых вложений, а соответственно повышения цен на электроэнергию для конечного потребителя. Применение данной технологии на больших населенных пунктах, у которых сложилась экономическая составляющая, является не целесообразным.

Тем не менее, данная схема может быть задействована при строительстве новых промышленных объектов, промышленных городов, а также в малых населенных пунктах. Данная схема учитывает факторы возникновения аварийных ситуаций, а также плановых профилактических работ, замену вышедшей из строя оборудования, так как применение закольцованности подстанций позволит создание непрерывной подачи электроэнергии до потребителя, что в конечном итоге положительной скажется на развивающейся экономике.

Таким образом, можно определить новые пути развития единого энергетического кольца, а именно применение такой технологии в малых масштаба, таких как населенные пункты или отдельно взятые предприятия, которые требуют непрерывной работы электроприборов. Задачами таких энергетических колец будет выступать полномасштабное обеспечение потребителя электроэнергией. Целью же такого применения технологии служит создание возможности проведения плановых и внеплановых ремонтных работ без отключения подачи электроэнергии потребителю.

Список используемой литературы

1. Автоматизация диспетчерского управления в электроэнергетике [Текст] / В. А. Баринов, А. З. Гамм, Ю. Н. Кучеров [и др.] ; под общ. ред. Ю. Н. Руденко, В. А. Семенова. – М. : Изд-во МЭИ, 2000. – 646, [1] с. – Библиогр. С. 624-642.
2. Беляев Л. С., Подковальников С. В., Савельев В. А., Чудинова Л. Ю. Эффективность межгосударственных электрических связей. Новосибирск : Наука, Сиб. изд. фирма РАН, 2008. 239 с.
3. Березов А. Б. Проектирование и строительство линий электропередачи постоянного тока // Энергетическое строительство за рубежом. – 1986. – № 6. – С. 28–33.
4. Бохмат, И. С. Снижение коммерческих потерь в электроэнергетических системах / И.С Бохмат, В.Э. Воротницкий, Е.П. Татарин // Электрические станции. 1998. – № 9. – С. 31–39
5. Бударгин О. М. Электроэнергетика – драйвер глобальных энергообъединений // Электроэнергия. Передача и распределение. 2017. № 3 (42). С. 4–7.
6. Воронин В.П. РАО «ЕЭС России». Состояние и перспективы // Электрические сети и системы. – 2003. – № 1. – С. 13–16.
7. Выбор основных элементов электрической сети и анализ режимов ее работы [Текст]: учеб. пособие / Г. А. Черепанова, А. В. Вычегжанин. – Киров: изд. ВятГУ, 2012
8. Гайсаров Р. В., Лисовская И. Т. Выбор электрической аппаратуры, токоведущих частей и изоляторов: учебное пособие к курсовому и дипломному проектированию. – Челябинск: ЮУрГУ, 2002.
9. Герасименко А. А. Передача и распределение электрической энергии [Текст]: учеб. пособие / А. А. Герасименко, В. Т. Федин. – 2-е изд. – Ростов н/Д: Феникс ; 2006. - 715 с.

10. ГОСТ Р 54149-2010. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения [Электронный ресурс] : введ. 01.01.2013. – М. : Стандартиформ, 2012. – Доступ из нормативно-технической системы «Техэксперт».

11. ГОСТ Р 58670-2019 «Единая энергетическая система и изолированно работающие энергосистемы. Планирование развития энергосистем. Расчеты электроэнергетических режимов и определение технических решений при перспективном развитии энергосистем. Нормы и требования : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 19 ноября 2019 г. № 1196-ст : введен впервые : дата введения 2020-01-01 / подготовлен Акционерным обществом «Системный оператор Единой энергетической системы». – М. : Стандартиформ, 2019.

12. Григораш О. В., Пигарев К. В., Ивановский О. Я., Туаев А. С. Концепция построения энергоэффективных систем электроснабжения. Технический оппонент 2018; 1(1): 40–45.

13. Дальневосточное информационное агентство Порт Амур : электронное периодическое издание : [сайт]. – М. , 2009. URL: <https://portamur.ru/>. (дата обращения 15.12.2021).

14. Дьяков А. Ф. Единая электроэнергетическая система России в период рыночных преобразований : [Учеб. пособие для вузов по направлению 650900 «Электроэнергетика»] / А. Ф. Дьяков, В. В. Платонов. – М. : Издательство МЭИ, 2003. – 150 с. : ил. ; 21 см. – Библиогр.: с. 147-148.

15. Дьяков А. Ф. Менеджмент и маркетинг в электроэнергетике: учебное пособие для студентов ВУЗов / А. Ф. Дьяков, В. В. Жуков, Б. К. Максимов [и др.] ; под ред. А.Ф. Дьякова. – 3-е изд. – М.: Издательский дом МЭИ, 2007 – 475 с. : ил. ; 24 см.

16. Единая электроэнергетическая система России в период рыночных преобразований : [Учеб. пособие для вузов по направлению 650900 «Электроэнергетика»] / А. Ф. Дьяков, В. В. Платонов. – Москва : Издательство МЭИ, 2003. – 150 с. : ил. ; 21 см. – Библиогр.: с. 147-148.
17. История разработки плана ГОЭЛРО [Электронный ресурс] // Музей истории МосЭнерго. URL: https://www.mosenergo-museum.ru/History_of_Mosenergo/Historical_Review/19034 (дата обращения 01.05.2022).
18. Козлов Б. И. Вклад Академии Наук в индустриализацию России / Б. И. Козлов // Вестник РАН : журнал. – М., 2000. – № 12. – С. 1059-1068.
19. Кузнецов М. И. Основы электротехники [Электронный ресурс] / М. И. Кузнецов ; ред. С. В. Страхов. – 9-е изд., испр. – М.: Высш. школа, 1964. – 560 с. URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=213777>. (дата обращения 01.11.2021).
20. Мелентьев Л. А. Оптимизация развития и управления больших систем энергетики: учеб. пособие. 2-е изд. М.: Высшая школа, 1982. 319 с.
21. Менеджмент и маркетинг в электроэнергетике: учебное пособие для студентов ВУЗов /А. Ф. Дьяков, В. В. Жуков, Б. К. Максимов, В. В. Молодюк; под ред. А. Ф. Дьякова. – 3-е изд. – М.: Издательский дом МЭИ, 2007 – 475 с. : ил. ; 24 см.
22. Методические рекомендации по проектированию развития энергосистем (СО 153-34.20.118-2003). Серия 17. Выпуск 19 / Колл. авт. – М.: Закрытое акционерное общество «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности», 2010. – 56 с.
23. Методы анализа и расчета замкнутых электрических сетей: Учебное пособие / С. С. Ананичева, А. Л. Мызин. 4-е изд., исправл. Екатеринбург: УрФУ, 2012. 94 с.
24. О единой технической политике в электросетевом комплексе [Электронный ресурс] // Положение ПАО «Россети», утв. Советом Директоров ПАО «Россети» (протокол от 22.02.2017 № 252). – М., 2017. –

195 с. URL: https://www.mrsk-ural.ru/public/upload/content/files/2019/tech_policy2019.pdf. (дата обращения: 01.05.2022).

25. Объединённая энергетическая система // Большая российская энциклопедия : [в 35 т.] / гл. ред. Ю. С. Осипов. – М. : Большая российская энциклопедия, 2004-2017. URL: https://bigenc.ru/technology_and_technique/text/2676229 (дата обращения: 01.05.2022).

26. Основы современной энергетики: учебник для вузов : в 2 т. / под общей редакцией чл.-корр. РАН Е. В. Аметистова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Издательский дом МЭИ, 2008. Том 2. Современная электроэнергетика / под ред. профессоров А. П. Бурмана, В. А. Строева. – 632 с., ил.

27. Подъячев В. Н., Евтушенко В. А. Схемы принципиальные электрические распределительных устройств подстанции 35-750 кВ. Типовые решения. – Энергосетьпроект, 1993.

28. Пособие к курсовому и дипломному проектированию для электроэнергетических специальностей [Текст] / под ред. В. М. Блока. – М. : Высш. шк., 1990. – 383 с.

29. Правила устройства электроустановок (ПУЭ) [Текст]. – 7-е изд. – М.: НЦ ЭНАС, 2003. – 550 с.

30. Президенты пяти государств – членов ЕАЭС подписали протокол о создании общего электроэнергетического рынка [Электронный ресурс] // Министерство энергетики Российской Федерации. URL: <https://minenergo.gov.ru/node/14908> (дата обращения: 29.04.2023).

31. Приказ Минэнерго России от 08.02.2019 № 81 «Об утверждении требований к перегрузочной способности трансформаторов и автотрансформаторов, установленных на объектах электроэнергетики, и ее поддержанию и о внесении изменений в Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации, утвержденные приказом Минэнерго России от 19.06.2003 № 229».

32. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 9 июня 2020 года № 1523-р . «Об утверждении Энергетической стратегии

Российской Федерации на период до 2035 года». URL: <https://docs.cntd.ru/document/565068231?marker=64U0IK§ion=text> (дата обращения 12.11.2022).

33. Рожкова Л. Д., Козулин В. С. Электрооборудование станций и подстанций. – 3-е изд. – М.: Энергоатомиздат, 1987.

34. Россия, Азербайджан и Иран подписали соглашение о совместной разработке ТЭО проекта соединения энергосистем трех стран [Электронный ресурс] // СО ЕЭС. URL: [http://www.sou-ups.ru/index.php?id=press_release_view&tx_ttnews\[tt_news\]=14758&cHash=a5f3e97f2d](http://www.sou-ups.ru/index.php?id=press_release_view&tx_ttnews[tt_news]=14758&cHash=a5f3e97f2d) (дата обращения: 14.04.2023).

35. Салтанов Г. А. Единая энергетическая система [Электронный ресурс] / Г. А. Салтанов // Большая российская энциклопедия : [в 35 т.] / гл. ред. Ю. С. Осипов. – М. : Большая российская энциклопедия, 2004–2017. URL: https://bigenc.ru/technology_and_technique/text/1976249. (дата обращения: 23.04.2022).

36. Салтанов Г.А. Объединённая энергетическая система [Электронный ресурс] / Г. А. Салтанов // Большая российская энциклопедия : [в 35 т.] / гл. ред. Ю.С. Осипов. – М. : Большая российская энциклопедия, 2004–2017. URL: https://bigenc.ru/technology_and_technique/text/2676229 (дата обращения: 01.05.2022).

37. Симонов Н. С. Энергетическая статистика дореволюционной России / Н. С. Симонов // Статистика и экономика. – 2017. – Вып. 4. – С. 22 – 32.

38. Совалов С. А. История создания и развития Единой энергетической системы. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.twirpx.com/file/748760/> (дата обращения: 14.04.2023).

39. Справочник по проектированию электрических сетей [Текст] / под ред. Д. Л. Файбисовича. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: ЭНАС, 2009. – 392 с.

40. СТО 17330282.27.010.001-2008 Электроэнергетика. Термины и определения, ОАО РАО «ЕЭС России».

41. СТО 59012820.29.020.002-2012 Релейная защита и автоматика. Взаимодействие субъектов электроэнергетики, потребителей электрической энергии при создании (модернизации) и организации эксплуатации (с Изменениями от 29.07.2014 № 201, от 22.09.2016, 05.04.2019), ОАО «СО ЕЭС».

42. Стребков Д. С. Перспективы создания глобальной солнечной энергосистемы. Технический оппонент 2018; 1(1): 14–23.

43. ТАСС : информационное агентство России : [сайт]. – Москва, 1999. URL: <http://tass.ru>. (дата обращения: 12.12.2021).

44. Установившиеся режимы электрических сетей в примерах и задачах [Текст]: учеб. пособие / Г. А. Черепанова, А. В. Вычегжанин. – Киров: изд. ВятГТУ, 1999.

45. Федеральный закон Российской Федерации от 26 марта 2003 г. № 35-ФЗ «Об электроэнергетике» (последняя редакция) [Электронный ресурс] : принят Гос. Думой 21 февраля 2003 г. : одобр. Советом Федерации 12 марта 2003 г. Доступ из оф. интернет-портала правовой информации «pravo.gov.ru». URL: <http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&nd=102080839> (дата обращения 04.04.2023).

46. Черепанова Г. А. Расчеты режимов электрических сетей [Текст] / Г. А. Черепанова, А. В. Вычегжанин. – Киров : ВятГТУ, 2002. – 78 с.

47. Черепанова Г.А. Учебно-методическое пособие по курсовому проекту «Проектирование сетевого района» [Текст]: учеб. пособие / Г.А. Черепанова, А.В. Вычегжанин. – Киров: изд. ВятГУ, 2003.

48. Чжэнья Л. Глобальное энергетическое объединение. М.: МЭИ, 2016. 512 с.

49. Шамсиев Х. А. Современное состояние и перспективы развития Объединенной энергосистемы Центральной Азии [Электронный ресурс] // Координационно-диспетчерский центр «Энергия», Ташкент. Апрель 2019.

23 с. URL: <https://www.carecprogram.org/uploads/CAPS-Modern-condition-and-outlookru.pdf> (дата обращения: 11.04.2023).

50. Энергетика России (1920-2020 гг.). Том 1. // План ГОЭЛРО. – М.: ИД Энергия, 2006. – 1067 с.

51. Энергетическая стратегия России на период до 2035 года : проект, утв. распоряжением Правительства Российской Федерации в сентябре 2015 г. [Электронный ресурс]. URL: http://www.energystrategy.ru/ab_ins/source/ES2035_09_2015.pdf (дата обращения: 13.04.2023).

52. AMPRAVDA.RU : сетевое издание : [сайт]. – Москва, 2020. URL: <https://www.ampravda.ru/> (дата обращения 12.12.2022).

53. AMUR.KP.RU : сетевое издание : [сайт]. – Москва, 2020. URL: <https://www.amur.kp.ru/> (дата обращения 12.12.2022).

54. AMUR.LIFE : информационное агентство : [сайт]. – Москва, 2020. URL: <https://www.amur.life/> (дата обращения 15.12.2021).

55. Arif A. et al. Load modeling - A review // IEEE Transactions on Smart Grid. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2018. Vol. 9, № 6. P. 5986–5999. Global Electricity Network. Feasibility Study [Электронный ресурс]. CIGRE, 2019. 139 p. URL: https://orbi.uliege.be/bitstream/2268/239969/1/CIGRE-GLOBAL_GRIDREPORT.pdf (дата обращения: 11.04.2023).

56. Global Electricity Network. Feasibility Study [Электронный ресурс]. CIGRE, 2019. 139 p. URL: https://orbi.uliege.be/bitstream/2268/239969/1/CIGRE-GLOBAL_GRID-REPORT.pdf (дата обращения: 11.04.2023).

57. IEEE C37.2-2008 Стандарт Института инженеров по электротехнике и электронике (IEEE). Стандартные номера функций устройств электроэнергетической системы, аббревиатуры и обозначения контактов (Standard of the Institute of Electrical and Electronics Engineers

(IEEE). IEEE C37.2-2008 Standard Electrical Power System Device Function Numbers, Acronyms, and Contact Designations).

58. Khaitan S.K., McCalley J.D. Cyber physical system approach for design of power grids // IEEE PES General Meeting, Vancouver, Canada, July 21 – 25, 2013, 6 p.

59. Piskunova, V., Gerasimov, D., Suslov K., Ukolova, E., Akhmetshin, A. Lombardi, P. Komarnicki, P. Development of the methodological basis of the simulation modelling of the multi-energy systems //E3S Web of Conferences. 2019 International Scientific and Technical Conference Smart Energy Systems, SES 2019; Kazan; Russian Federation; 18-20 September 2019.

60. Podkoyal'nikov S. V., Chudinova L. Yu. Strategic Cooperation of Electric Power Systems of Russia and Central Asia for the Creation of Common Eurasian Electric Power Space [Электронный ресурс] // E3S Web Conf. 2019. Vol. 139. 5 p. URL: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201913901003> (дата обращения: 11.04.2023).

61. Tyagunov M. Distributed energy system's is future of the world's power industry. Proceeding of the 2nd International Conference on the Applications of Information Technology to Renewable Energy Processes and Systems, Amman, Jordan, 6–7 December 2017 (IT-DREPS 2017). University of Petra, 2018: 113–117.

Приложение А

Схема электроснабжения предприятия и его объектов

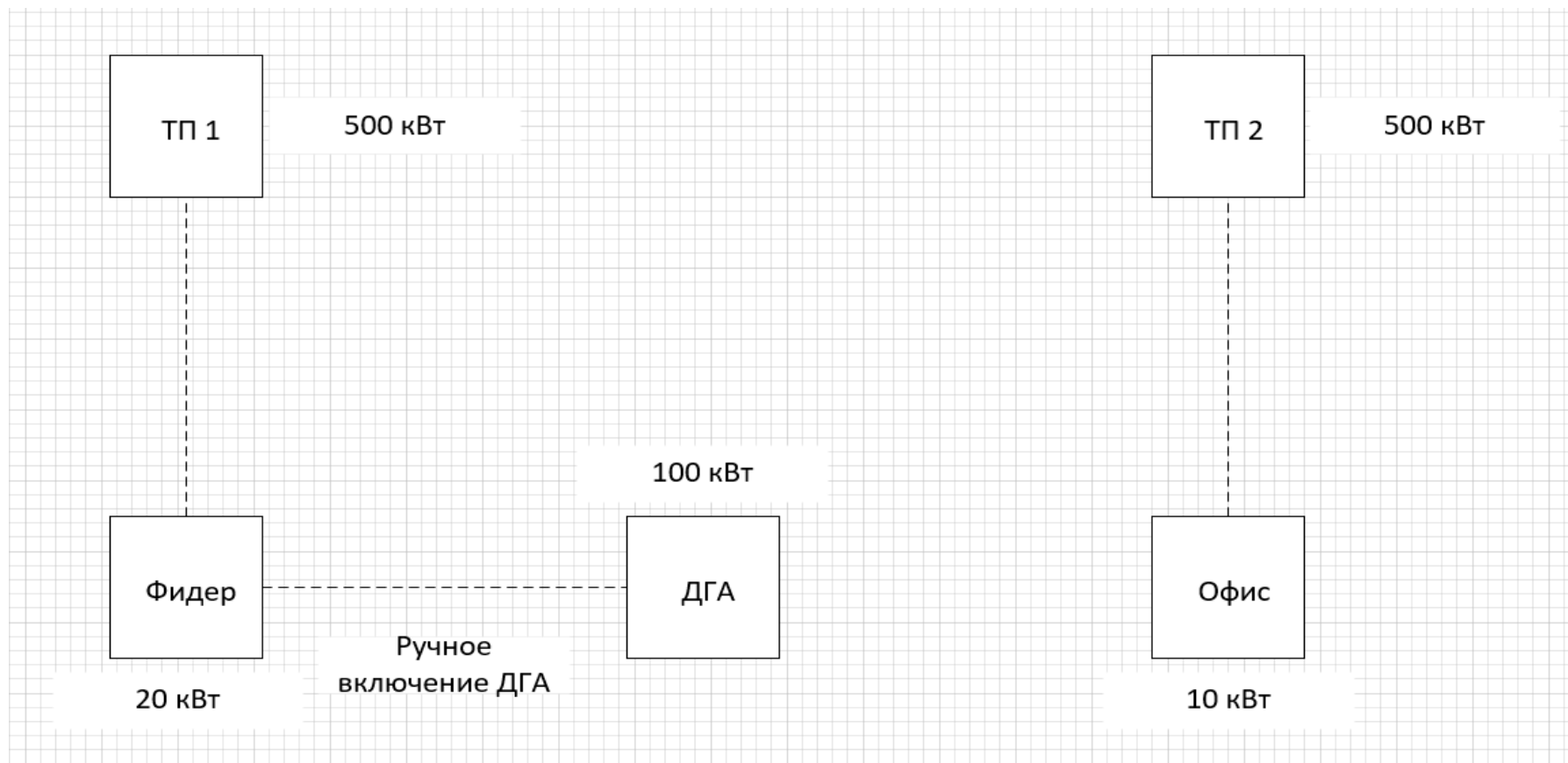


Рисунок А.1 - Схема электроснабжения предприятия и его объектов

Приложение Б

Схема модернизации электроснабжения предприятия и подконтрольных субъектов

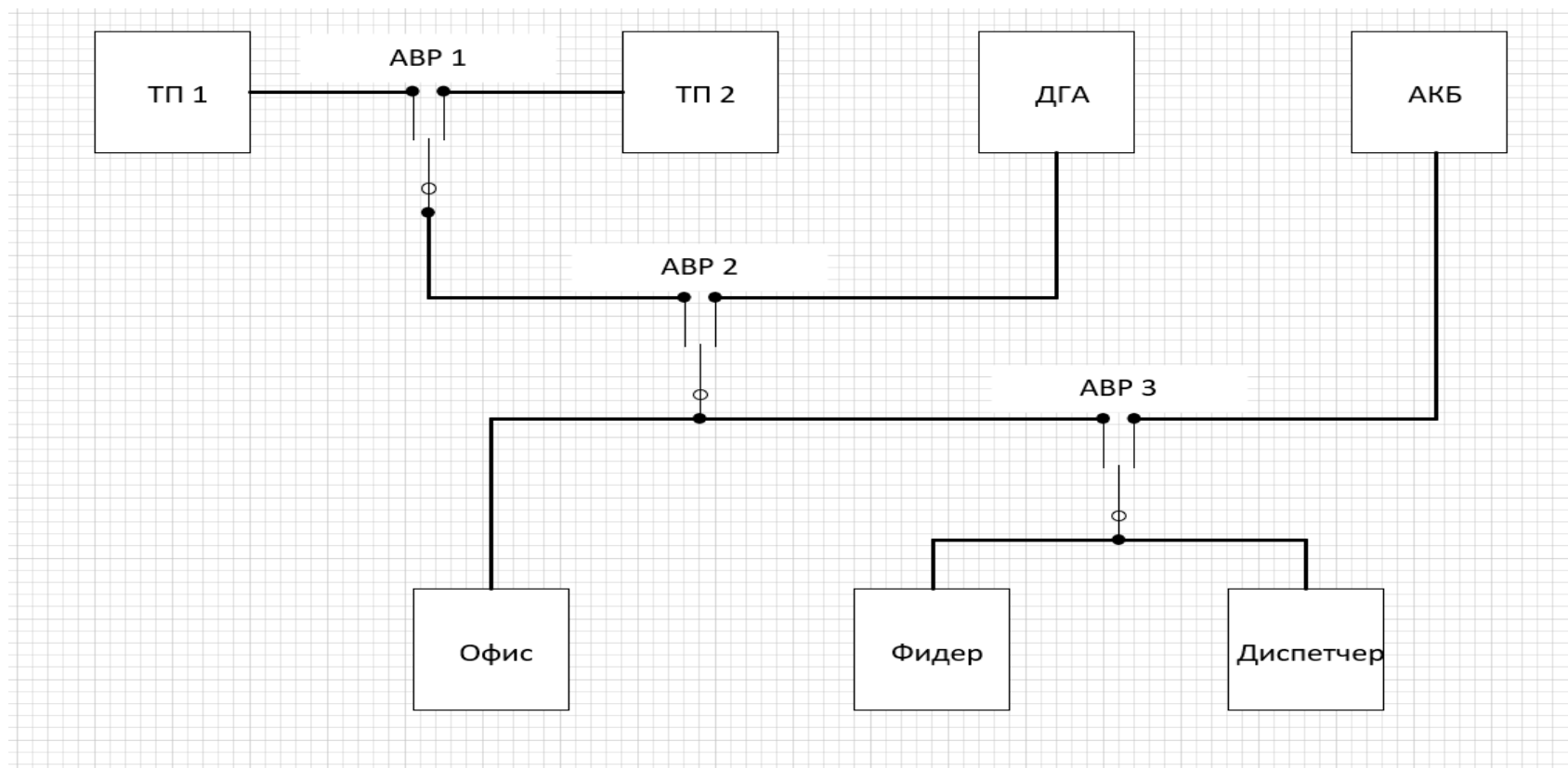


Рисунок Б.1 – Схема модернизации электроснабжения предприятия и подконтрольных субъектов

Приложение В

Схема центральных подстанций города, которые действует на данный момент

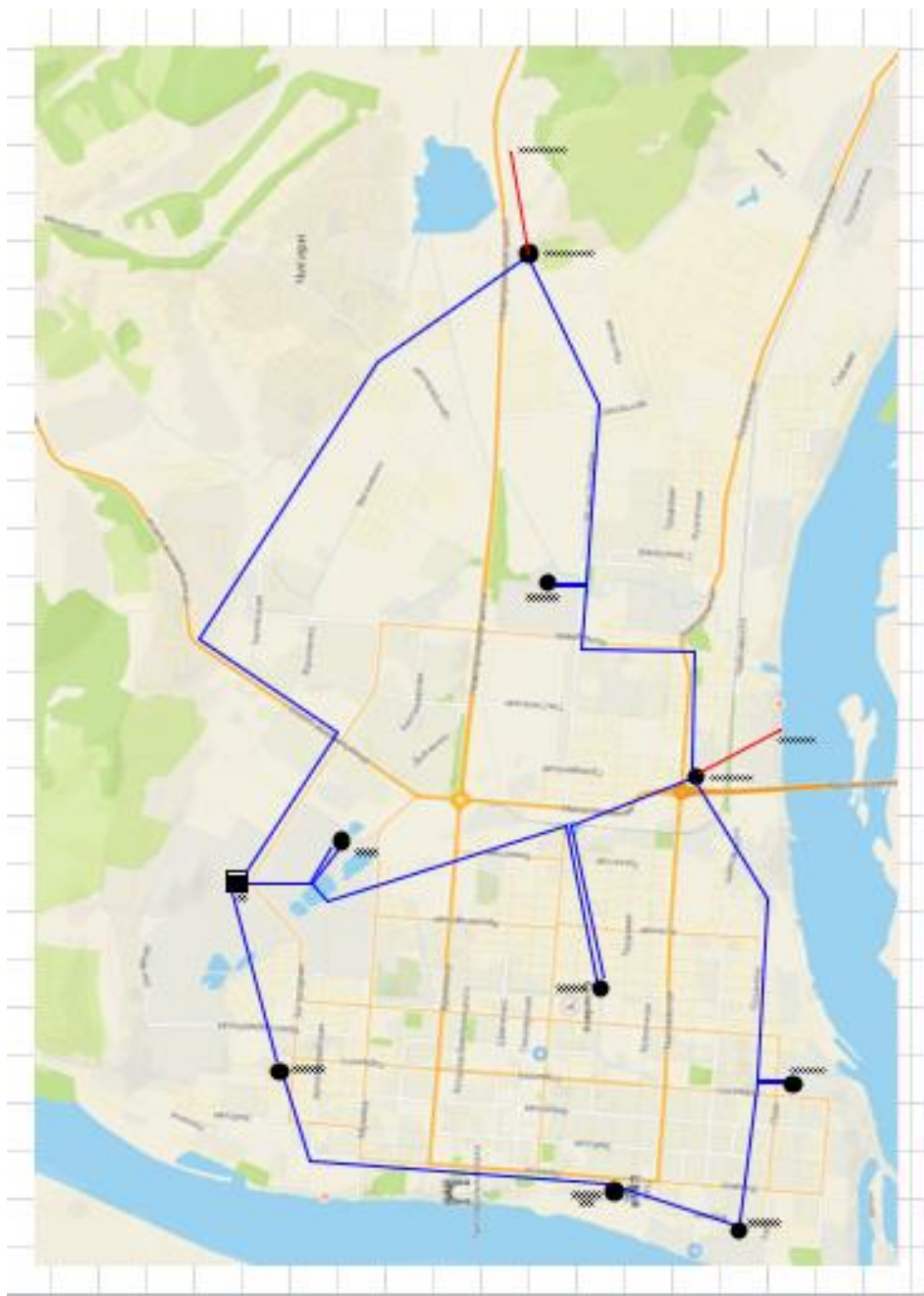


Рисунок В.1 – Схема действующих центральных подстанций города

Приложение Г
Линейная схема подстанций города

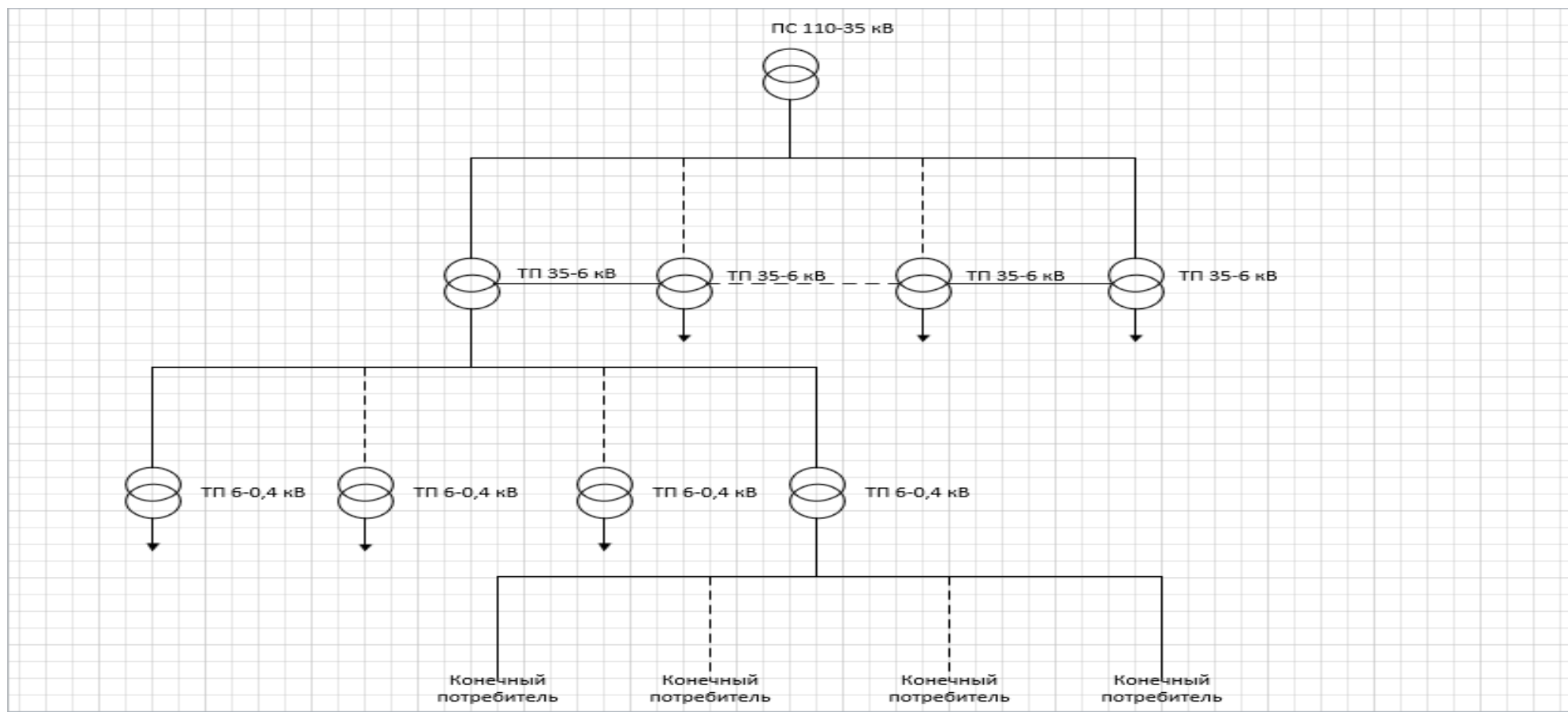


Рисунок Г.1 – Линейная схема подстанций города

Приложение Д

Разработанная линейная схема подстанций города

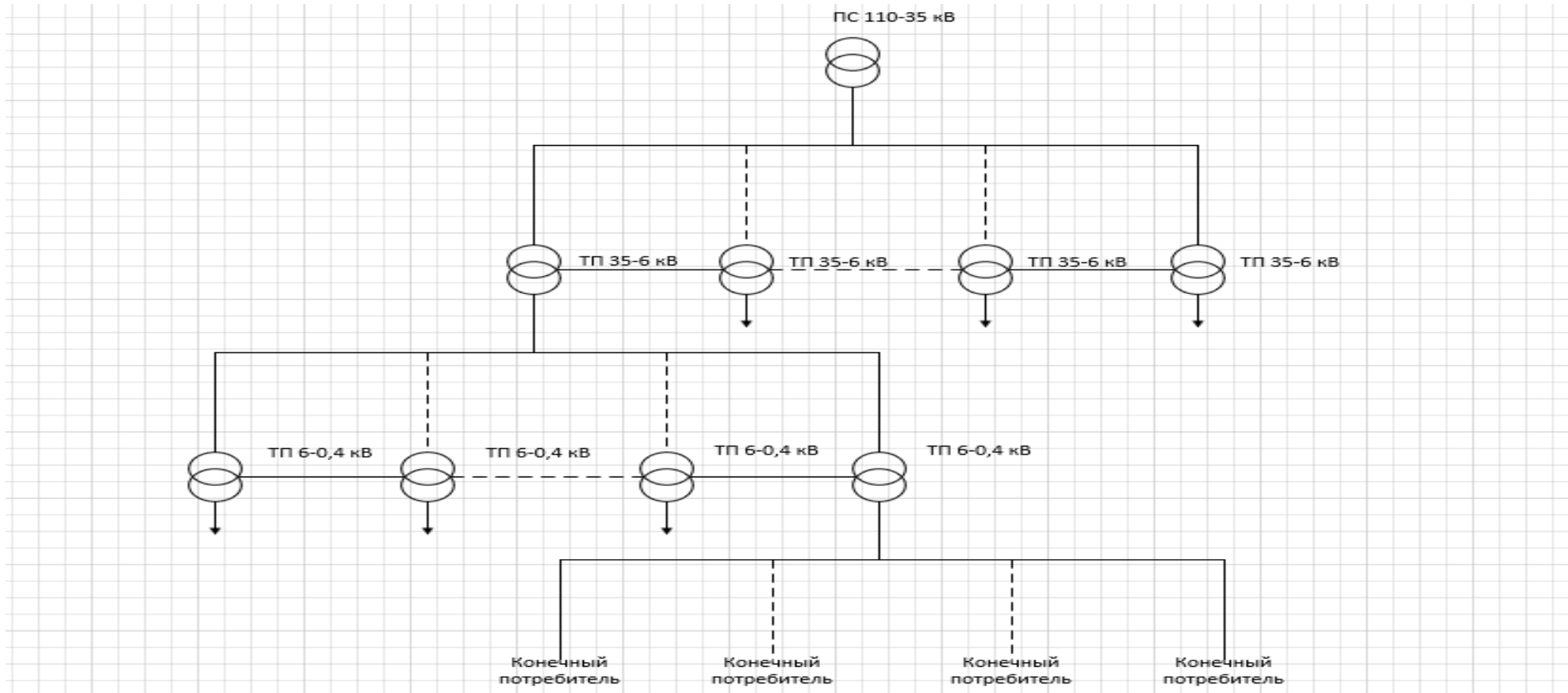


Рисунок Д.1 - Разработанная линейная схема подстанций города

Приложение Е

Типовая система электроснабжения различных объектов

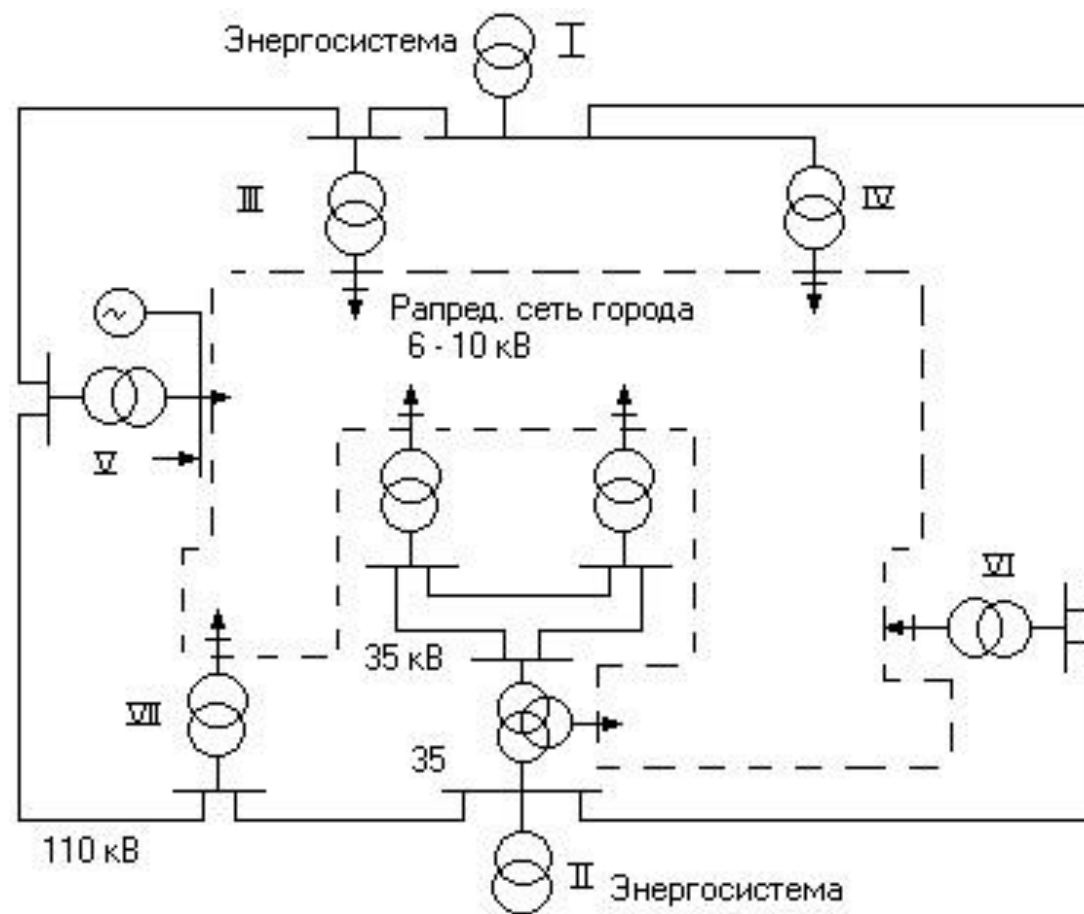


Рисунок Е.1 - Типовая система электроснабжения различных объектов