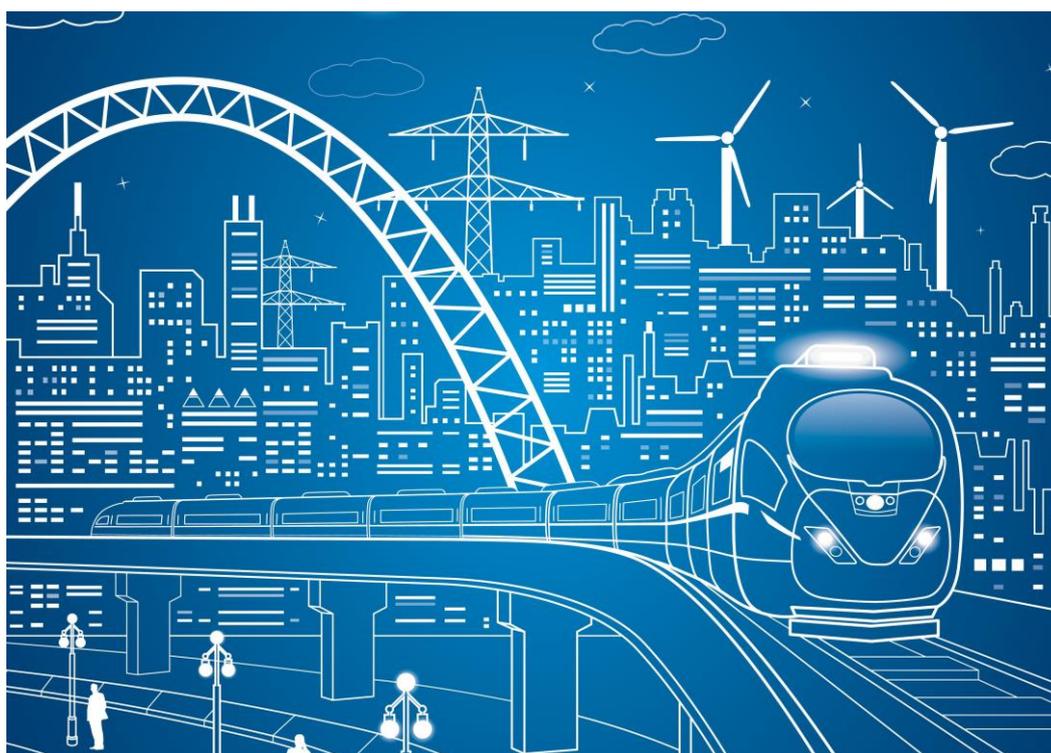


ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ

Л.Н. ГУМИЛЕВ АТЫНДАҒЫ ЕУРАЗИЯ ҰЛТТЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ
КӨЛІК – ЭНЕРГЕТИКА ФАКУЛЬТЕТІ



***«КӨЛІК ЖӘНЕ ЭНЕРГЕТИКАНЫҢ ӨЗЕКТІ МӘСЕЛЕЛЕРІ:
ИННОВАЦИЯЛЫҚ ШЕШУ ТӘСІЛДЕРІ» XI ХАЛЫҚАРАЛЫҚ
ҒЫЛЫМИ-ТӘЖІРИБЕЛІК КОНФЕРЕНЦИЯСЫНЫҢ БАЯНДАМАЛАР
ЖИНАҒЫ***

***СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ
XI МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО – ПРАКТИЧЕСКОЙ
КОНФЕРЕНЦИИ: «АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ТРАНСПОРТА И
ЭНЕРГЕТИКИ: ПУТИ ИХ ИННОВАЦИОННОГО РЕШЕНИЯ»***

***PROCEEDINGS OF THE XI INTERNATIONAL SCIENTIFIC-PRACTICE
CONFERENCE «ACTUAL PROBLEMS OF TRANSPORT AND ENERGY:
THE WAYS OF ITS INNOVATIVE SOLUTIONS»***

Астана, 2023

УДК 656+620.9
ББК 39+31
А43

Редакционная коллегия:

Председатель – Курмангалиева Ж.Д. Член Правления – Проректор по науке, коммерциализации и интернационализации; Заместитель председателя – Кокаев У.Ш. декан транспортно-энергетического факультета, к.т.н., доцент; Султанов Т.Т. – заместитель декана по научной работе, к.т.н., доцент; Арпабеков М.И. – заведующий кафедрой «Организация перевозок, движения и эксплуатация транспорта», д.т.н., профессор; Тогизбаева Б.Б. – заведующий кафедрой «Транспорт, транспортная техника и технологии», д.т.н., профессор; Байхожаева Б.У. – заведующий кафедрой «Стандартизация, сертификация и метрология», д.т.н., профессор; Сакипов К.Е.– заведующий кафедрой «Теплоэнергетика», к.т.н., доцент; Жакишев Б.А.– заведующий кафедрой «Электроэнергетика», к.т.н., доцент.

А43 Актуальные проблемы транспорта и энергетики: пути их инновационного решения: XI Международная научно – практическая конференция, г. Астана, 16 марта 2023/Подгот. Ж.Д. Курмангалиева, У.Ш. Кокаев, Т.Т. Султанов – Астана, 2023. – 709с.

ISBN 978-601-337-844-2

В сборник включены материалы XI Международной научно – практической конференции на тему: «Актуальные проблемы транспорта и энергетики: пути их инновационного решения», проходившей в г. Астана 16 марта 2023 года.

Тематика статей и докладов участников конференции посвящена актуальным вопросам организации перевозок, движения и эксплуатации транспорта, стандартизации, метрологии и сертификации, транспорту, транспортной техники и технологии, теплоэнергетики и электроэнергетики.

Материалы конференции дают отражение научной деятельности ведущих ученых дальнего и ближнего зарубежья, Республики Казахстан и могут быть полезными для докторантов, магистрантов и студентов.



ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ НАПРЯЖЕНИЕМ 20 кВ

Шеръязов Сакен Койшыбаевич¹ – д.т.н., профессор;

Шеменков Назар Владимирович² - магистрант

E-mail: sakenu@yandex.ru, nazarshemenkov@gmail.com

¹Южно-Уральский государственный аграрный университет, г. Челябинск, РФ

²Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, РК

В статье приведены результаты анализа отечественного и зарубежного опыта эксплуатации распределительной электрической сети напряжением 20 кВ. Представлены вопросы общего применения сетей напряжением 20 кВ, технико-экономические показатели в сравнении сетями 6 и 10 кВ. методы заземления в сетях напряжением 20 кВ. Поставлен вопрос о возможности развития сетей напряжением 20 кВ в Республике Казахстан.

Ключевые слова: удельная плотность электрических нагрузок, напряжение 20 кВ, городские электрические сети, воздушные и кабельные линии электропередачи.

Электрические сети являются неотъемлемой частью современного общества, обеспечивая электроэнергией дома, предприятия и промышленность. Однако, поскольку спрос на электроэнергию продолжает расти, возрастает и потребность в электросетях с большей пропускной способностью. Самым эффективным способом увеличить пропускную способность является увеличение напряжения электрической сети. В этой статье рассмотрены электросети напряжением 20 кВ.

История применения электрической сети 20 кВ можно проследить с начала 20-го века, когда электричество впервые стало распространяться в больших масштабах. В то время напряжение электрических сетей не было стандартизированным. На постсоветском пространстве электрические сети 20 кВ применялись на территории Российской Империи в городе Санкт-Петербург в 1909 году. В 1916 году был проложен кабель 20 кВ в бывшей фабрике Торнтон, что одновременно явилось первым шагом в передаче больших мощностей с использованием кабельных линий [1].

Развитие электрической сети 20 кВ получило развитие в западных странах в качестве городских и сельских сетей, где главным примером может послужить Франция и ее электрические сети в Париже с использованием системы напряжением 225/20/0,4 кВ [1]. После принятия плана ГОЭЛРО от использования сетей 20 кВ отказались в пользу 10 и 35 кВ, в следствии чего развитие получила система 110/35/10 кВ.

В современных условиях переход электрической сети с 10 кВ на 20 кВ обусловлен некоторыми преимуществами последней, включая повышение эффективности, снижение потерь при передаче и большую гибкость при распределении электроэнергии. Эти преимущества придает электросети 20 кВ привлекательность для городских районов, где пространство ограничено, а плотность электрической нагрузки высокая.

Переход от сети 10 кВ к сети 20 кВ также может повлечь за собой изменения в нормативных требованиях и требованиях безопасности. Например, более высокие уровни напряжения могут потребовать более строгих правил безопасности. Кроме того, переход может потребовать ряд изменений в нормативно-правовой базе, регулирующей распределение электроэнергии, установления новых структур ценообразования и тарифных систем.

Для выявления особенности электрической сети напряжением 20 кВ проанализируем отечественный и зарубежный опыт эксплуатации и исследований, которые дадут представление о современном положении электрической сети 20 кВ. Так, в работе [2] аналитическим путем определена максимальная длина передачи единицы мощности (1 МВт) по условиям 10% потерь напряжения для сетей 6, 10 и 20 кВ, на примере кабеля с изоляцией из сшитого полиэтилена сечением/экраном - 95/16 в сети 6 кВ можно передать на максимальное расстояние 4 км, в сети

10 кВ - 9 км, в сети 20 кВ - 34 км (рисунок 1). Таким образом, сети 20 кВ позволяют в 3-8 раз увеличить площадь обслуживания потребителей и снизить количество ячеек на центрах питания.

Результат анализа потери электроэнергии в оборудовании 20 кВ показывают в 2,7 раза меньше, чем в оборудовании 10 кВ, и в 7,5 раз меньше, чем в оборудовании 6 кВ (рисунок 2). Сравнительный анализ показал, что пропускная способность линий 20 кВ в три раза превышает пропускную способность линий 6 кВ и в 1,9 раз – 10 кВ при сохранении трансформаторной мощности.

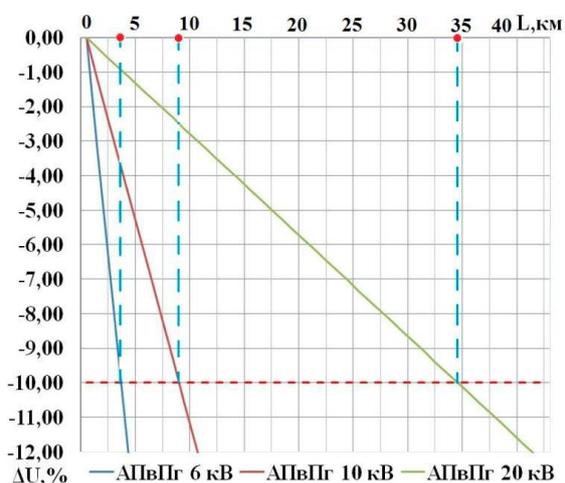


Рисунок 1 - Зависимость дальности передачи мощности от напряжения

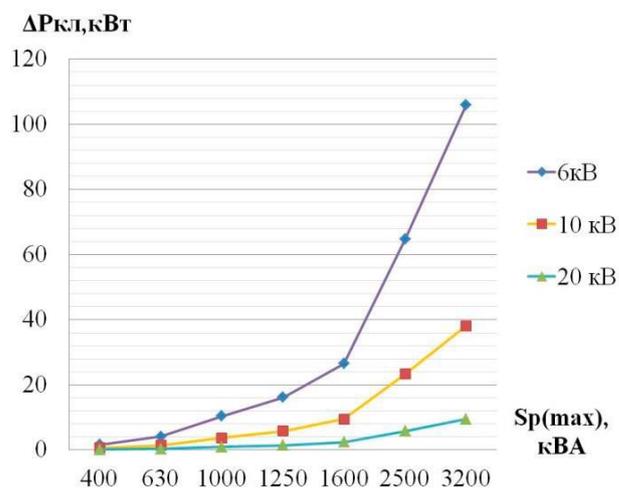


Рисунок 2 - Зависимость удельных потерь мощности от передаваемой мощности в КЛ

Отмечается что габариты электрооборудования на 20 кВ сопоставимы 10кВ. Стоимость оборудования на 35 кВ дороже на 30% по сравнению с 20 кВ. Стоит отметить, что к сетям 35 кВ предъявляются более жесткие требования к эксплуатации в сравнении с 6-20 кВ.

Также автором отдельно проведен анализ режимов заземления нейтрали в сети 20 кВ. с помощью имитации моделирования в программном комплексе PSCAD. Модель состоит из источника бесконечной мощности, двухобмоточного трансформатора, кабельной линии и нагрузки (рисунок 3).

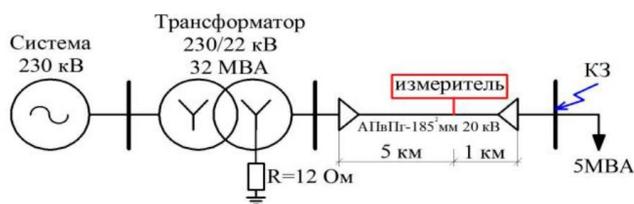


Рисунок 3 - Схема и модель участка сети в PSCAD

Моделировались трёх-, двух- и однофазные короткие замыкания для изолированной, заземленной нейтралей и нейтрали, заземленной через низкоомный резистор 12 Ом. Полученные величины токов представлены в таблице 1, а совмещенные осциллограммы для токов и напряжений при ОЗЗ на рисунке 4.

Таблица 1 - Значения токов короткого замыкания при различных типах нейтрали

Тип замыкания	Изолированная нейтраль, кА	Заземленная нейтраль, кА	Нейтраль, заземленная через низкоомный резистор, кА
(3) k I	6,2020	5,564	5,564
(2) k I	5,8031	5,1631	5,2137
(1) k I	0,3273	1,19	0,8287

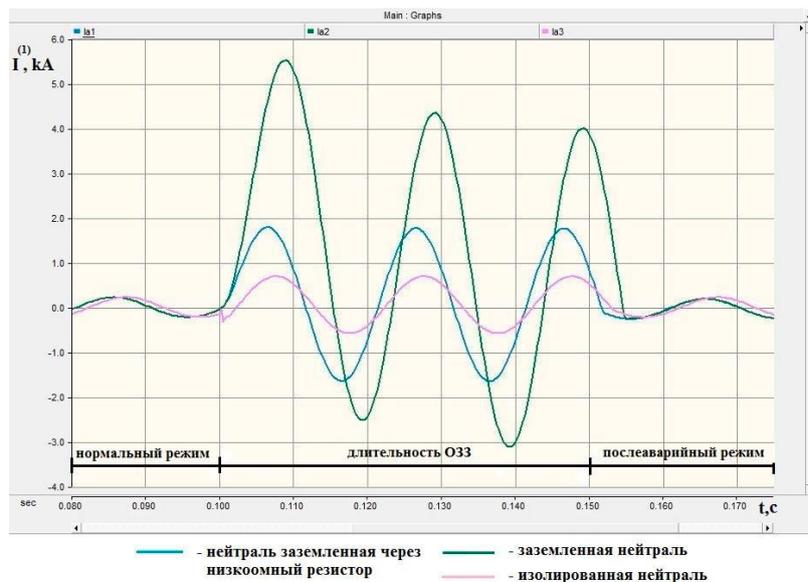


Рисунок 4 - Осциллограммы токов при $I_k^{(1)}$

Результаты показывают, что однофазный ток короткого замыкания в сети с заземленной нейтралью и в сети с нейтралью, заземленной через низкоомный резистор, имеет большую величину, по сравнению с этим же током в сети с изолированной нейтралью, в 2,5-3,6 раза, что обеспечивает высокую чувствительность защит от однофазных коротких замыканий. Автор делает следующие выводы в пользу преимущества сети с нейтралью, заземленной через низкоомный резистор, для городских сетей 20 кВ:

- быстрое отключение при ОЗЗ поврежденного элемента, исключение развития повреждения;
- отсутствие феррорезонансных явлений, вызываемых кратковременными ОЗЗ из-за широкого диапазона настройки ДГР, необходимого для разветвленных городских сетей с часто изменяющейся конфигурацией по отношению к питающему центру;
- исключение возможности перехода однофазного замыкания в многофазное;
- уменьшение вероятности поражения персонала и посторонних лиц за счет быстрого отключения поврежденной линии;
- перенапряжения, возникающие при дуговых замыканиях на землю, могут достигать всего 1,9-2,2 Uф, их длительность ограничена временем работы защиты (менее 1с.);
- отсутствие длительного воздействия на изоляцию дуговых перенапряжений, что ведет к накоплению дефектов, снижению срока службы и увеличению ущерба.

Технико-экономическая целесообразность применения напряжения 20 кВ в городских электрических сетях рассматривается в работе [3]. Исследование перевода городской электрической сети с двумя подстанциями 110/10 кВ. на напряжение 20 кВ привел к изменениям источника питания. Так в результате зона обслуживания в сети напряжением 20 кВ увеличивается в 2 раза относительно сети 10 кВ и устанавливается одна двухтрансформаторная подстанция 110/20 кВ с трансформаторами ТРДН-40000/110/20.

В расчёте дисконтированных издержек учитывались: ГПП; воздушные линии 110 кВ, питающие главную подстанцию; кабельные линии 10 и 20 кВ с алюминиевыми жилами и изоляцией из сшитого полиэтилена с выбором сечения исходя из экономической плотности тока, при этом учитывалось ограничение по нагреву кабеля токами короткого замыкания; подстанции 10/0,4 кВ и 20/0,4 кВ; стоимость потерь в трансформаторах и в линиях и стоимость отчуждаемой земли под строительство главной понизительной подстанции. Для обеспечения качества электроэнергии приняты допустимые потери напряжения 10 % до самой электрически удаленной точки.

Анализ данных показывает положительный экономический эффект при существенной стоимости оборудования. Вместе с тем увеличение стоимости электроэнергии и увеличение плотности нагрузки в городах – процесс постоянный, который увеличит преимущество напряжения 20 кВ. Применение напряжения 20 кВ целесообразно при строительстве новых районов городов, коттеджных посёлков.

В электрических сетях важно выбрать режим ее нейтрали. Возможны три режима заземления нейтрали: изолированная нейтраль, заземление нейтрали через дугогасящий реактор и резистивное заземление нейтрали

Выбор режима заземления нейтрали в распределительной сети 20 кВ рассмотрен в работе [4]:

1. Режим изолированной нейтрали.

Режим изолированной нейтрали используется только в сети с небольшим емкостным током. Согласно стандартом электроэнергетики, для сети 20 кВ, режим незаземленной нейтрали должен использоваться, когда ток емкости меньше 10 А. При однофазном замыкании повышается частота перенапряжения, особенно при большом емкостном токе. Между тем, риск перенапряжения из-за электрической дуги также возрастает, и поэтому вся распределительная сеть требует более высокого уровня изоляции.

2. Дугогасящий реактор (катушка Петерсена).

При заземлении через дугогасящий реактор может производиться инверсный ток для компенсации емкостного тока во время однофазных замыканий. Распределительная система может работать при повреждениях около 2 часов, что соответствует режиму изолированной нейтрали, что обеспечивает надежность и непрерывность электроснабжения.

3. Резистивное заземление нейтрали.

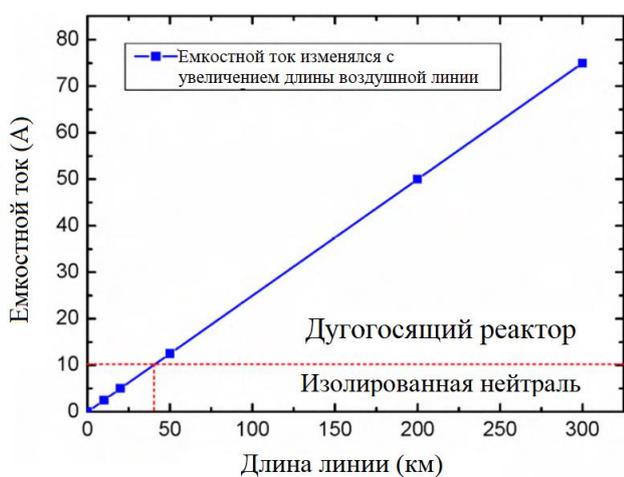


Рисунок 5 - Изменение емкостного тока в зависимости от длины воздушной линии

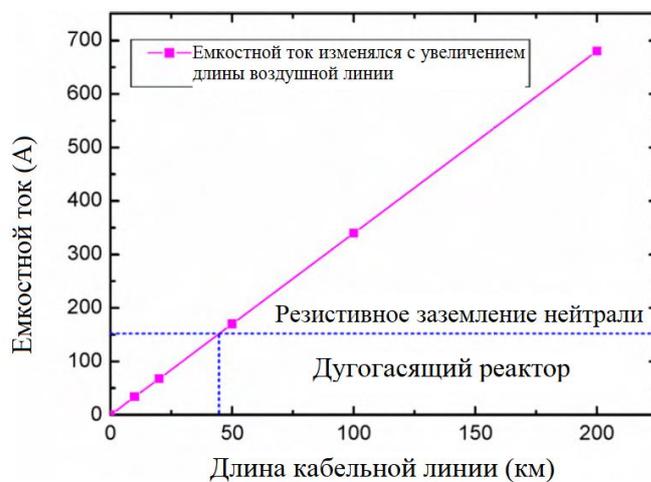


Рисунок 6 - Изменение емкостного тока в зависимости от длины кабельной линии

В сети 20 кВ резистивное заземление нейтрали используется, когда емкостной ток превышает 150 А. Режим заземление через резистор может эффективно ограничивать перенапряжение частоты питания и перенапряжение заземления электрической дуги при однофазном замыкании, поскольку ток замыкания велик, защитное оборудование может действовать немедленно для устранения неисправностей. Однако большой ток замыкания в этом режиме может привести к повышению контактного напряжения и фазного напряжения, угрожая безопасности человека и оборудования.

При выборе режима заземления в распределительной сети 20 кВ электрические сети можно разделить на три категории: воздушные линии, кабельные линии и смешанные линии. Емкостной ток, изменяющийся с длиной ВЛ, указан на рисунке 5. Так, при длине ВЛ более 40 км емкостной ток становится выше 10 А, что следует заземления через дугогасящий реактор. Тогда режим изолированной нейтрали можно использовать при длине менее 40 км.

Емкостной ток, изменяющийся в зависимости от длины кабельных линий, указан на рисунке 6, резистивное заземление нейтрали используется при длине кабельной линии более 45 км, а емкостной ток системы превышает 150 А. Режим заземления через дугогасящий реактор можно использовать при длине менее 45 км. На начальном этапе строительства распределительной сети сумма длины кабельных линий от подстанции может быть менее 45 км, однако, с учетом скорости развития городской распределительной сети, для кабельных линий резистивное заземление нейтрали следует использовать всегда.

Смешанные линии, включающие в себя как воздушные, так и кабельные линии довольно часто встречаются в распределении 20 кВ. Режим изолированной нейтрали может быть использован, когда длина кабельной линии составляет менее 2 км, а длина воздушной линии составляет менее 20 км; режим резистивного заземления нейтрали следует использовать, когда длина кабельной линии в смешанных линиях составляет более 50 км; режим заземления через дугогасящий реактор может быть использован в других условиях.

Необходимо отметить, что согласно ПУЭ РК [5], для сетей 20 кВ, режим изолированной нейтрали должен использоваться, если емкостной ток меньше 10А в случае железобетонных и металлических опор на ВЛ, в сетях, не имеющих железобетонных и металлических опор на ВЛ менее 15А, в ином случае предусматривается компенсация емкостного тока замыкания на землю. При токах замыкания на землю более 50 А применяется не менее двух заземляющих дугогасящих реакторов. Однако при всем этом в ПУЭ не прописаны условия для кабельных линий, как и условия применения резистивного заземления нейтрали не смотря на правило, предусматривающее возможность его применения.

В результате анализа литературы можно сделать вывод что сети напряжением 20 кВ широко используются в мировой практике и в современных условиях имеют существенные преимущества в сравнении с сетями 10 кВ, благодаря большей пропускной способности, меньшим потерям электроэнергии, более выгодной стоимостью в сравнении с 10 кВ при условии высокой плотности нагрузки.

Однако в условиях Республики Казахстан сказать об однозначном преимуществе сетей 20 кВ над сетями 10 кВ сложно из-за некоторых специфических факторов которые требуют отдельного рассмотрения, таких как: несовершенная нормативная база; низкая плотность населения и следовательно, низкая удельная плотность электрической нагрузки, из-за чего развитие местного оборудования ставится под вопросом экономической целесообразности. Необходимо изучение тенденции роста плотности электрических нагрузок в городах и пригородах, тенденции роста производства соответствующего отечественного оборудования или анализ экономической доступности зарубежного оборудования (в том числе ближнее зарубежье, оборудование производимое в странах входящих в СНГ и ЕврАзЭС) и разработка правок в нормативные документы для применения сетей 20 кВ с учетом мировой практики.

Список использованных источников

1. Козлов В.А. Электроснабжение городов / В. А. Козлов. – 2-е изд. пер. – Л. Изд-во Энергия, 1977. – 280 с.
2. Лоскутов А.Б. Современные подходы к построению систем энергоснабжения мегаполисов // fondsmena.ru, 2017. По ссылке - <https://clck.ru/33KJ4M>
3. Черепанов Вячеслав Васильевич, Суворова Ирина Александровна Исследование технико-экономической целесообразности применения напряжения 20 кВ в городских электрических сетях // Энергобезопасность и энергосбережение. 2012. №5.
4. Y. Ji and Y. Hou, "Approach on the neutral grounding modes of 20kV distribution networks" // 2008 China International Conference on Electricity Distribution, Guangzhou, China, 2008, pp. 1-4, doi: 10.1109/CICED.2008.5211818.
5. Правила устройства электроустановок Республика Казахстан в редакции от 22.02.2022 г.