

УДК 621.315:621.317.333.4(575.2-25)
DOI: 10.36979/1694-500X-2024-24-12-62-68

АНАЛИЗ ПОВРЕЖДАЕМОСТИ КАБЕЛЬНОЙ СЕТИ Г. БИШКЕКА

Б.К. Такырбашев, Ж.А. Бокоева, У.М. Тайчабаров

Аннотация. Проведен анализ текущего состояния и повреждаемости кабельных сетей г. Бишкека. Кабельные линии напряжением 6–10 кВ являются самыми распространёнными линиями в городе. Стабильный рост повреждений в КЛ почти на 100 % свидетельствует об износе и о «старении» оборудования и необходимости проведения масштабной реконструкции кабельных сетей с применением новых технологий, с учетом постоянного роста потребления электроэнергии. Изучен характер и виды повреждений высоковольтных кабельных сетей столицы. Проанализировано текущее состояние силовых кабельных линий распределительной сети. Результаты многолетнего мониторинга распределительных компаний позволили выявить факторы, приводящие к повреждению кабельных линий. Предложены пути уменьшения повреждаемости кабельной сети.

Ключевые слова: кабельные линии; повреждение; аварийное отключение; мониторинг; ремонтные муфты.

БИШКЕК ШААРЫНЫН КАБЕЛДИК ТАРМАГЫНЫН БУЗУЛУШУН ТАЛДОО

Б.К. Такырбашев, Ж.А. Бокоева, У.М. Тайчабаров

Аннотация. Макала Бишкек шаарындагы кабелдик тармактарды эксплуатациялоодо, учурдагы абалына жана бузулуштарына талдоо жүргүзүүгө арналган. 6-10 кВ чыңалуудагы кабелдик зымдар Бишкек шаарында кеңири таралган зымдар болуп саналат. Кабелдик зымдардын бардык аймактарында бузулуунун туруктуу өсүшү, дээрлик 100%, жабдыктардын жарактан чыккан, «эскирген» жана жаңы технологияларды колдонуу менен, кабелдик тармактарды масштабдуу реконструкциялоо зарылдыгын ачык көрсөтүп турат. Бул өз кезегинде электр энергиясын керектөөнүн өсүшүн камсыз кылат. Бишкек шаарынын жогорку чыңалуусунун кабелдик зымдардын, бузулушунун мүнөздөрү жана түрлөрү изилденди. Бөлүштүрүүчү тармактардын электр кабелдик зымдардын учурдагы абалына талдоо жүргүзүлдү. Бөлүштүрүүчү компаниялардын узак мөөнөттүү мониторингинин жыйынтыгы боюнча кабелдик зымдардын бузулушуна таасир этүүчү факторлор аныкталган. Кабелдик тармактын бузулушун азайтуунун жолдору да каралды.

Түйүндүү сөздөр: кабелдик чубалгылар; бузулуу; авариялык өчүрүү; мониторинг; оңдоо муфталары.

ANALYSIS OF DAMAGE IN THE CABLE NETWORK IN BISHKEK

B.K. Takyrbashev, Zh.A. Bokoeva, U.M. Taichabarov

Abstract. The article is devoted to the analysis of the current condition and damage of cable networks in Bishkek is carried out. Cable lines with a voltage of 6-10 kV are the most common lines in the city. The steady increase in damage in the overhead line by almost 100% indicates the wear and «aging» of equipment and the need for large-scale reconstruction of cable networks using new technologies, taking into account the constant increase in electricity consumption. The nature and types of damage to the capital's high-voltage cable networks have been studied. The current state of the power cable lines of the distribution network is analyzed. The results of long-term monitoring of distribution companies have revealed the factors leading to damage to cable lines. Ways to reduce the damage to the cable network are proposed.

Keywords: cable lines; damage; emergency shutdown; monitoring; repair couplings.

Введение. Самыми распространёнными кабельными линиями в городе Бишкеке являются линии напряжением 6–10 кВ. В настоящее время их протяжённость составляют более тысячи километров.

Большинство эксплуатируемых ныне кабелей имеют по три алюминиевые жилы, которые покрыты бумажной изоляцией, пропитанной маслом и сшитым полиэтиленом. Кабели, предназначенные для скрытой прокладки в земле, дополнительно защищены металлической бронёй. В среднем, при нормальной эксплуатации, на каждые 100 км кабельных линий приходится 20–30 аварий в год [1]. По отчётным данным Национальной электрической сети Кыргызстана (НЭСК) за 2022 год, в кабельных сетях 6/10–35 кВ г. Бишкека данный показатель составил 51 отключение в год на 100 км. При удовлетворительном состоянии электрических сетей количество аварийных отключений не должно превышать 40 отключений в год на 100 км. У воздушных линий этот показатель в 1,5–2 раза меньше. В распределительных сетях 6(10) кВ г. Бишкека в среднем происходит 60 отключений в месяц [1].

Результаты многолетнего мониторинга высоковольтных кабельных линий выявлены следующие виды повреждений: заводской брак, неправильная прокладка кабеля в траншее; механические повреждения из-за раскопок вблизи трассы залегания кабельных линий; внутренние перенапряжения в сети; продолжительная перегрузка кабеля по току; неправильный монтаж соединительных и концевых муфт кабеля, коррозия кабельной оболочки, старение изоляции [2].

Из-за воздействия на кабель описанных выше факторов, в кабельных сетях возникают следующие виды повреждений: однофазные замыкания (это самый распространённый вид повреждений в высоковольтных кабельных сетях), из-за малых токов во время замыкания происходят межфазные пробои, постепенно разрушая изоляцию, что приводит к межфазному замыканию жил кабеля [2].

Анализ текущего состояния кабельных сетей. Кабельные сети г. Бишкека получают питание от 25 подстанций 110 кВ и от 17 подстанций – 35 кВ. Из них шесть подстанций 110 кВ и десять подстанций 35 кВ переведены в режим низкоомного резистивного заземления нейтрали, а оставшаяся часть подстанций работает в режиме изолированной нейтрали. По данным учёта аварийных отключений автоматизированной системы планирования и ремонта (АСПР) НЭСК за 2023 год, в сетях 6(10) кВ Бишкек ПЭС произошло 608 аварийных отключений, из них 60 % приходится на повреждение кабельных линий. Характер повреждения кабелей по линии защиты МТЗ и МТО показал, что однофазное короткое замыкание постепенно переходит на междуфазное короткое замыкание. Анализ характера аварийных отключений показал, что в сетях 6(10) кВ кабельных линий, повреждения происходили в местах, где отсутствуют резистивные заземления нейтрали, т. е. в сетях, которые имеют заземление нейтрали через низкоомный резистор, в них повреждений значительно меньше, чем в сетях с изолированной нейтралью.

В настоящее время в г. Бишкеке в эксплуатации находятся следующие линии: 110 кВ – 10 км; 35 кВ – 73,0 км; 6–10 кВ – 1005 км кабельных линий.

Текущее состояние кабельных сетей города в настоящее время позволяет обеспечить полезную поставку электроэнергии потребителям в объёме 2 млрд 738 млн кВт·ч (2022 г.). Однако высокий уровень износа кабельных линий не позволяет в ближайшее время осуществлять надёжную поставку электрической энергии без надлежащего проведения глубокой модернизации действующих кабельных линий и автоматизации процесса диагностики кабельных сетей, а также ввода новых линий.

Текущее состояние кабельных сетей в г. Бишкеке значительно хуже, чем в других развитых странах, где показатель износа составляет 27–44 %. Около 45 % кабельной сети города эксплуатируется уже более 30 лет, она практически отработала свой ресурс и не соответствует современным требованиям, имеет низкую пропускную способность, а марки кабеля не соответствуют рабочему напряжению. Городские сети планомерно переводятся с 6 кВ на рабочее напряжение 10 кВ, что позволяет снизить технические потери в сетях и улучшить качество электроснабжения потребителей. Вместе с тем, кабельные линии 6 кВ, проложенные в 50–80-х годах прошлого века выполнены с помощью кабеля с бумажной изоляцией, и требуют срочной замены, так как эта изоляция не выдерживает напряжение 10 кВ. Часть кабельных линий по проекту «Реабилитации сетей г. Бишкек» в 2012–2014 гг.

была заменена на кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена марки NA2(FL)2Y1×400 мм² и 35 кВ NA2(FL)2Y1×400 мм² категории класса «А» производства Турции.

Недостатком данного кабеля является то, что он имеет класс изоляции «А». По требованию стандарта IEC 60502–2, он должен отключаться при замыкании на землю одной фазы в течение менее одной минуты. В случае однофазного замыкания на землю в сетях с изолированной нейтралью, по проекту предусмотрена защита кабельных линий только на сигнал. Второй недостаток – выбрано уменьшенное сечение экрана кабеля. Рекомендуется принять сечение экрана [3].

Выбор трасс кабельных линий МП «Бишкекглавархитектура» производит по остаточному принципу. Не соблюдается норма, при которой улицы должны иметь технические газоны для прокладки в них общегородских инженерных коммуникаций, в том числе кабельных линий. Множество кабельных линий проходят рядом с деревьями, корни деревьев способствуют смещению грунта по трассе КЛ, в жилах кабеля возникает усилие на излом, появляются микротрещины, что является потенциальным местом повреждения кабельной линии.

На рисунке 1 показано состояние кабельных линий после раскопки теплотрасс, где красным кругом отмечены места прохода кабельных линий рядом с теплотрассами.

Рядом с трассами кабельных линий часто проводят работы землеройной техникой, это также приводит к сдвигу грунта. В этом месте изоляция кабеля будет находиться в напряженном состоянии, в результате чего она ослабляется и происходит ее пробой.

В этом случае заземляется экран кабеля со стороны питания, а другой конец экрана со стороны потребителя подключается к ОПН. Для уменьшения дуговых и феррорезонансных перенапряжений на секциях шин десяти подстанциях установлены высоковольтные низкоомные резисторы через ФМЗО (фильтр заземляемый однофазный). Подключения высоковольтного резистора к контуру заземления подстанции позволяет изменять режим заземления нейтрали сети. Низкоомное заземление нейтрали полностью исключает явление феррорезонансного перенапряжения сети и гарантированно уменьшает любое перенапряжения до величины 1–2,2 [4]. Низкоомные резистивные заземления нейтрали позволяют выполнить эффективную защиту кабельных линий от однофазных замыканий на землю.

Пути уменьшения повреждаемости кабельной сети. Выбор трассы для реконструкции существующих и строительству новых кольцующих кабельных линий необходимо осуществлять совместно с МП «Бишкекглавархитектура». При этом рекомендуется выбирать оптимальные трассы кабельных линий с учетом затрат на эксплуатационно-ремонтные работы в соответствии с п. гл. 2.3.25; 2.3.30 «ПУЭ» [5].



Рисунок 1 – Трассы абонентских кабельных линий и теплотрасс по ул. 7 апреля, г. Бишкек

Таблица 1 – Рекомендованные номинальные напряжения U_0 (IEC 60502-2)

Самое высокое напряжение в системе (U_m), кВ	Номинальное напряжение (U_0) кВ	
	Категории А и В	Категория С
7,2	3,6	6,0
12,0	6,0	8,7
36,0	18,0	–

Как известно, питающие кабельные сети, подстанции 35 кВ (которые составляют 47 %) и подстанции 110 кВ (76 %), в настоящее время не переведены в режим низкоомного резистивного заземления нейтрали. Исходя из этого, необходимо выбирать кабели, имеющие изоляцию из сшитого полиэтилена только категории «С», т. к. однофазные замыкания на землю могут существовать длительное время, поэтому в сетях с изолированной нейтралью по проекту ОЗЗ предусмотрено воздействие на сигнал.

Для сравнительной оценки значения категории изоляции стандартом IEC 60502-2 рекомендованы напряжения U_0 , приведенные в таблице 1 [6].

Номинальное напряжение кабеля для данного применения должно соответствовать эксплуатационному режиму системы, в которой используется кабель.

Следует отметить, что в системе с изолированной нейтралью, в которой замыкание на землю не устраняется автоматически в течение короткого времени, приводит к дополнительной нагрузке на изоляцию кабеля, сокращая, тем самым, срок службы кабеля. По этой причине, в местах, где проложены кабельные линии с изоляцией сшитым полиэтиленом производства Турции, были случаи повреждения кабельных линий в сетях изолированной нейтрали, не имеющих защиты однофазного замыкания на землю.

Учитывая все изложенное выше, предлагается перевести режим изолированной нейтрали на режим низкоомного заземления с переводом защиты ОЗЗ на немедленное отключение кабельной линии. Установка резистора нейтрали увеличивает чувствительность защиты однофазного замыкания на землю кабельной сети.

Результаты и их обсуждение. Междофазные замыкания кабельных сетей можно разделить на два вида. Первый вид повреждений с переходным сопротивлением, близким к нулю. Такие повреждения появляются вследствие протекания большого тока короткого замыкания в месте повреждения. Вследствие этого происходит спайка жил между собой или через оболочку, или обгорание кабеля на участке обрыва. Второй вид с переходным сопротивлением от нескольких сотен Ом до десятка кОм. Данный вид повреждений характерен для случаев, когда между жилами имеется большое переходное сопротивление и их замыкание возможно только на относительно высоком напряжении через оболочку или образовавшуюся электрическую дугу.

Обрыв жилы при данном виде повреждения возникает в результате перемещения слоев почвы в местах установки муфт. При этом происходит вытягивание жил кабеля. Для такого повреждения характерно высокое сопротивление изоляции жилы и высокое напряжение пробоя между отрезками жилы. Обрыв жил также происходит из-за большого тока короткого замыкания.

Механические повреждения обрыва кабеля возникают в результате проведения земляных работ в охранных зонах кабельных линий. Это происходит при несоблюдении необходимых нормативных расстояний при параллельной прокладке и пересечениях КЛ с другими инженерными коммуникациями. Основными причинами в этом случае являются нарушения правил техники безопасности (ПТБ) при производстве работ в охранных зонах КЛ, которые составляют до 6,2 % от общего количества аварийных отключений КЛ 6/10 кВ.

Повреждения КЛ 35-6/10 кВ, возникающие в процессе эксплуатации в целых местах КЛ, возникают по нескольким причинам. Это «старение» защитных покровов и оболочек кабеля в связи

с длительными сроками эксплуатации, разрушение защитных покровов агрессивными грунтами по трассе КЛ, повреждениями КЛ при «подвижках» грунта, которые происходят в период оттаивания почвы после зимы и в период наибольших летних температур из-за пересыхания почвы и ухудшения условий охлаждения КЛ.

Несоблюдение действующих норм и правил при проектировании, строительстве и монтаже кабельных линий, также приводит к повреждению кабеля.

Анализ аварийных отключений и количества АВР в кабельных сетях 35–6/10 кВ по г. Бишкека за 2022 и 2023 гг. в процентном соотношении от общего количества показал:

- механические повреждения КЛ – от 2,5 до 6,4 %;
- повреждения в целых местах КЛ – от 44,7 до 62,1 %;
- повреждения в монтажных муфтах – от 2,2 до 15,7 %;
- повреждения в ремонтных муфтах – от 22,3 до 42,6 %;
- повреждения в концевых муфтах – от 1,6 до 20,8 %.

Сравнительная оценка причин повреждаемости приведена на рисунке 2.

Анализ характера причин повреждаемости кабельных линий за 2023 г. приведен на рисунке 3.

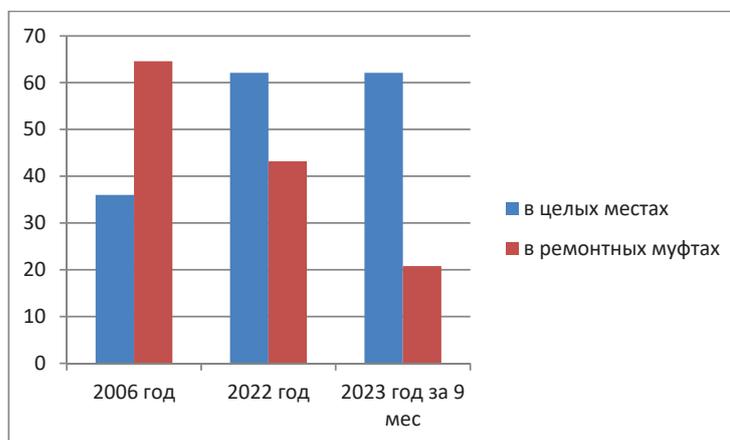


Рисунок 2 – Многолетняя сравнительная оценка повреждаемости кабельных линий г. Бишкека

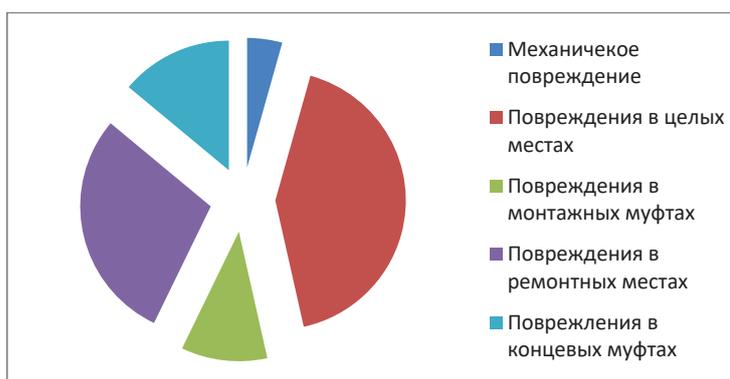


Рисунок 3 – Диаграмма причин повреждения высоковольтных кабельных линий за 9 месяцев 2023 г.

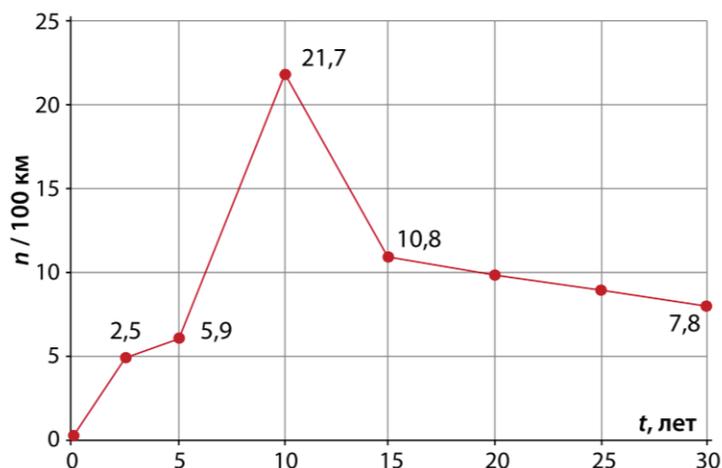


Рисунок 4 – Зависимость выхода кабельных линий из строя от срока эксплуатации

Анализ статистических данных и опыта эксплуатации зарубежных и российских высоковольтных линий показывает, что максимум отказов кабельных линий происходит спустя 10 лет эксплуатации (рисунок 4).

Очевидно, что это обусловлено в первую очередь старением изоляции, что, в числе прочего, связано с наличием в ней влаги. Стоит отметить, что большинство отказов происходит значительно раньше установленного срока службы кабеля (30 лет), но при этом позже даты окончания гарантии. В связи с этим, устранение указанных выше проблем при эксплуатации кабельных линий, ложатся на плечи эксплуатирующих организаций.

Выводы. Результаты проведенных исследований показали, что основными причинами высокого показателя количества аварийных отключений в кабельных сетях являются:

- физический износ оборудования;
- низкая пропускная способность, не отвечающая современному уровню и ежегодному росту потребления электроэнергии;
- значительное опережение темпов «старения» оборудования и темпов реконструкции сетей (для достижения паритета необходимо ежегодно проводить реконструкцию сетей в количестве 25–30 км);
- перевод оборудования на рабочее 10 кВ при использовании кабелей марки 6 кВ;
- недостаточная степень защиты.

Результаты анализа причин повреждения кабельных линий показывают, что самые высокие показатели имеют механические повреждения. Поэтому при эксплуатационно-ремонтных работах высоковольтных кабельных линий необходимо уделять особое внимание предотвращению механических повреждений.

Поступила: 25.11.24; рецензирована: 09.12.24; принята: 11.12.24.

Литература

1. Джумаева Д.Д. и др. Анализ видов и причин высоковольтного горного производства. URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/15474//> Universum: технические науки: электрон. науч. журн. 2023. (7) (дата обращения: 05.11.24).
2. Дмитриев М.В. Кабельные линии высокого напряжения / М.В. Дмитриев. СПб.: Политехпресс, 2021. 688 с.

3. *Дмитриев М.В.* Выбор сечения экранов однофазных силовых кабелей / М.В. Дмитриев // Журнал «КАБЕЛЬ-news». 2009. № 5. С. 68–73.
4. *Кадамская К.П.* О резистивном заземлении нейтрали в сетях 6-35 кВ различного назначения / К.П. Кадамская, А.Б. Виштибеев // Докл. науч.-тех. конф. «Режимы заземления нейтрали сетей 3-6-10-35 кВ». Новосибирск, 2000.
5. ПУЭ / Минэнерго СССР. 6-е изд. М.: Энергоатомиздат, 1985. 640 с.
6. СТАНДАРТ IEC 60502–2 Редакция 2.0 2005-03.