



Havo elektr uzatish tarmoqlarini monitoring qilishning zamonaviy texnologiyalari

Moxirbek T. Maxsudov

PhD, dots, Andijon davlat texnika instituti, Andijon, 170100, O'zbekiston; mohirbek2702@mail.ru <https://orcid.org/0000-0002-6189-8200>

Dolzarbli: Energiya iste'molining ortishi havo elektr uzatish liniyalarini (EUL) ularning jismoniy imkoniyatlari chegarasida ishlatishga majbur qilmoqda. Elektr uzatishning samaradorligini oshirish, energiya yo'qotishlarini kamaytirish va avariya xavfini pasaytirish uchun havo tarmoqlarini real vaqt rejimida monitoring qilish dolzarb hisoblanadi.

Maqsad: EUL simlarining harorati, mexanik tarangligi, osilish darajasi, muzlanishi va elektr parametrlarini monitoring qilish orqali tarmoqlarni samarali boshqarish, energiya uzatish samaradorligini oshirish va texnik xizmat xarajatlarini kamaytirish.

Usullari: Simlarning elektr va mexanik parametrlarini telemetrik kuzatish; CAT-1 va OTLM kabi zamonaviy monitoring tizimlaridan foydalanish; Sensorlar, tenzodatchiklar, akselerometrlar va meteostansiyalarni qo'llash; Ma'lumotlarni simsiz aloqa kanallari (GSM, GPRS, ZigBee, xBee) orqali uzatish va SCADA tizimida qayta ishlash.

Natijalar: Elektr energiyasini uzatish samaradorligi 15–30% gacha oshadi; Avariya va nosozliklarni aniqlash tezlashadi, texnik xizmat xarajatlari kamayadi; Simlarning kritik holatlari, muzlanish va rezonans hodisalarini aniqlash orqali tarmoqning ishlash ishonchligi oshiriladi.

Kalit so'zlar: Havo elektr uzatish liniyasi, monitoring tizimi, CAT-1, OTLM, SCADA, energiya samaradorligi, telemetriya, reaktiv quvvat, muzlanish, akselerometr.

Современные технологии мониторинга воздушных линий электропередачи

Мохирбек Т. Махсудов

PhD, доц., Андижанский государственный технический институт, Андижан, 170100, Узбекистан; mohirbek2702@mail.ru <https://orcid.org/0000-0002-6189-8200>

Актуальность: Рост потребления энергии вынуждает эксплуатировать воздушные линии электропередачи (ВЛ) на пределе их физических возможностей. Для повышения эффективности передачи энергии, снижения потерь и уменьшения риска аварий актуально осуществлять мониторинг воздушных сетей в реальном времени.

Цель: Эффективное управление сетями, повышение эффективности передачи энергии и снижение затрат на техническое обслуживание за счёт мониторинга температуры проводов ВЛ, их механического натяжения, провеса, обледенения и электрических параметров.

Методы: Телеметрическое наблюдение электрических и механических параметров проводов; использование современных систем мониторинга, таких как CAT-1 и OTLM; применение датчиков, тензодатчиков, акселерометров и метеостанций; передача данных по беспроводным каналам (GSM, GPRS, ZigBee, xBee) и обработка в системе SCADA.

Результаты: Эффективность передачи электроэнергии увеличивается на 15–30%; ускоряется выявление и локализация аварий, сокращаются затраты на обслуживание; надёжность работы сети повышается за счёт выявления критических состояний проводов, обледенения и резонансных явлений.

Ключевые слова: Воздушная линия электропередачи, система мониторинга, CAT-1, OTLM, SCADA, энергоэффективность, телеметрия, реактивная мощность, обледенение, акселерометр.

Modern Technologies for Monitoring Overhead Transmission Lines

Mokhirbek T. Makhsudov

PhD, assoc.prof., Andijan State Technical Institute, Andijon, 170100, Uzbekistan; mohirbek2702@mail.ru <https://orcid.org/0000-0002-6189-8200>

Relevance: in recent years, due to the energy transition taking place in many countries of the world, energy transition processes are taking place in Uzbekistan. The transition is associated with a turn to green energy and serious problems of diversification of energy sources, development of market relations, digitalization and intellectualization of the energy sector. In such conditions, at all stages of the transition, it is necessary to ensure the reliability of electricity supply to consumers and the provision of electric power systems (EPS) in various modes. Therefore, conducting a study on the use of reliable methods for providing consumers with high-quality electrical power, including when operating wind and solar power plants with unstable modes, is relevant. One of such methods is operational demand response.

Aim: Efficient management of power networks, increasing energy transmission efficiency, and reducing

For citation: Makhsudov M.T. Modern Technologies for Monitoring Overhead Transmission Lines. Scientific and technical journal of Problems of Energy and Sources Saving, 2025, no. 4, pp. 351-358.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.18677092>

Received: 03.04.2025

Revised: 17.04.2025

Accepted: 10.07.2025

Published: 27.12.2025

Copyright: © Mokhirbek T. Makhsudov, 2025. Submitted to Problems of Energy and Sources Saving for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

maintenance costs by monitoring the temperature, mechanical tension, sag, icing, and electrical parameters of OHTL conductors.

Methods: Telemetric monitoring of electrical and mechanical parameters of conductors; Utilization of modern monitoring systems such as CAT-1 and OTLM; Application of sensors, strain gauges, accelerometers, and meteorological stations; Data transmission via wireless communication channels (GSM, GPRS, ZigBee, xBee) and processing in SCADA systems.

Results: Power transmission efficiency increases by up to 15–30%; Failure detection and fault localization become faster, reducing maintenance costs; Network reliability improves by identifying critical conductor states, icing, and resonance phenomena.

Keywords: Overhead transmission line, monitoring system, CAT-1, OTLM, SCADA, energy efficiency, telemetry, reactive power, icing, accelerometer.

1. Kirish (Introduction)

Elektr energiyasini elektr stansiyasidan iste'molchilarga yetkazib berish energetika sohasining eng muhim vazifalaridan biridir. Elektr energiyasi asosan havo orqali elektr uzatish liniyalari (EUL) orqali uzatiladi [1,2]. Ushbu tarmoqlar kabel liniyalari va energiyani o'zgartirish hamda yuklama bilan moslashtirish uskunalaridan iborat. Energiya uzatish samaradorligi va ishonchiligi elektr ta'minot tarmoqlarining holatiga bog'liq. Havo orqali o'tuvchi EUL monitoringi ushbu sohadagi ko'plab muammolarni hal etishga yordam beradi.

Havo elektr tarmoqlari orqali energiya uzatishda yo'qotishlar anchagina yuqori bo'lib quvvat yo'qotishlari energiyani o'zgartirishni ta'minlovchi uskunalarda ham, uzoq masofaga cho'zilgan o'tkazgich liniyalarida ham sodir bo'ladi. O'tkazgichlardagi elektr energiya yo'qotishlari tok kuchiga bog'liq bo'lganligi sababli, uzoq masofalarga uzatishda tok kuchini kamaytirish maqsadida transformatorlar yordamida kuchlanish oshiriladi. Bu esa bir xil quvvat uzatish sharoitida yo'qotishlarni sezilarli darajada kamaytirishga imkon beradi.

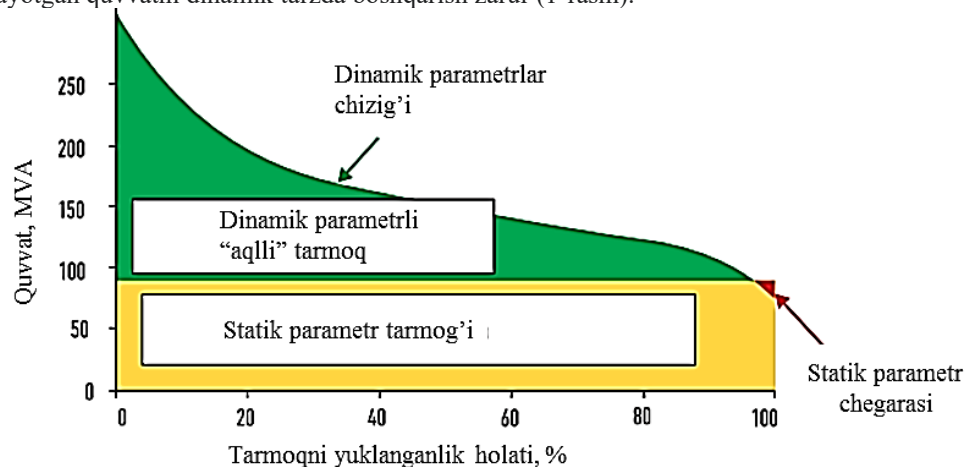
Biroq kuchlanish oshgan sari turli razryad hodisalari yuzaga keladi, bu esa qo'shimcha yo'qotishlarga sabab bo'ladi. Elektr energiyasini qayta taqsimlash uchun tugun stansiyalarida o'rnatilgan uskunalar energiya oqimlarini va ularning parametrlarini nazorat qilish, yo'qotishlar va elektr energiyasi sifati holatini baholash imkonini beradi.

Muayyan havo EUL orqali elektr energiyasini tashishda ruxsat etilgan tok yuklamalari belgilangan. Bunda tokning maksimal qiymatlari hisobga olinadi, ular simlarning tanlangan egilish chegarasidan oshib ketmasligi kerakligini ta'minlaydi. Bu qiymatlar EULning ekspluatatsiyasi davomida 90% va undan ortiq vaqt davomida uchramaydigan eng ekstremal sharoitlar uchun belgilangan.

Shu sababli, amalda mavjud bo'lgan zaxira resurs yordamida belgilangan me'yorlarni buzmaganda holda katta quvvatlarni uzatish imkoniyati mavjud. Ya'ni, elektr energiyasining qo'shimcha 15–30% qismini EULning ekspluatatsiya vaqtidan 90% da uzatish mumkin bo'ladi [3-5].

2. Usullar va materiallar (Methods and materials)

Monitoring tizimining mavjudligi esa ishonchilik me'yorlarini pasaytirmasdan ushbu qo'shimcha resursdan samarali foydalanish imkonini beradi [6]. Buning uchun butun yo'nalish bo'ylab tok darajasi va simlarning haroratini kuzatib borish va tarmoqning real holatiga mos ravishda uzatilayotgan quvvatni dinamik tarzda boshqarish zarur (1-rasm).



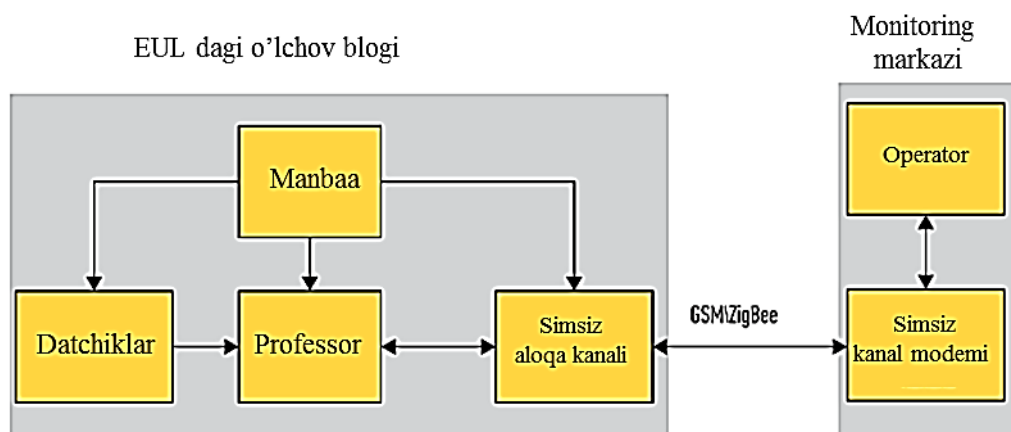
1-rasm. Statik va dinamik parametrli EULda energiya uzatish samaradorligi.

Fig.1. Energy transmission efficiency in EUL with static and dynamic parameters.

EUL simlarining parametrlarini telemetrik nazorat qilish texnologiyasi ilk bor bundan 40 yildan ortiq vaqt avval taklif etilgan. Dastlabki nazorat qilinadigan parametr – simdagi tok bo‘lgan va bu parametr telemetrik radioaloqa kanali orqali kuzatilgan.

So‘nggi 15 yil ichida axborot texnologiyalari rivojlanishi natijasida elektr EUL simlarini monitoring qilish tizimlarining tijorat darajasida joriy etilishi mumkin bo‘ldi.

Hozirgi vaqtda dunyo bo‘ylab elektr ta‘minoti havo liniyalarining joriy holati to‘g‘risida tizim operatoriga batafsil ma‘lumot beruvchi turli monitoring tizimlari keng qo‘llanilmoqda. Monitoring tizimi, dispatcherlik punktidagi uskunalar bilan aloqa kanali orqali bog‘langan o‘lchov bloklari tarmog‘idan iborat. O‘lchov bloklari EUL yo‘nalishi bo‘ylab joylashtiriladi va tayanchlarga yoki bevosita yuqori kuchlanishli simlarga o‘rnatiladi [7-9]. 2-rasmda EUL simlarining o‘tkazuvchanlik monitoringi tizimining tuzilmasi tasvirlangan.



2-rasm. Elektr uzatish liniyalari (EUL) simlarini monitoring qilish tizimi

Fig. 2. Wire monitoring system of Power Transmission Lines (PTL)

Dispatcher punktlari energiyani qayta taqsimlash tarmoqlarining tugun nuqtalarida joylashgan.

Hozirgi vaqtda ularda, odatda, o‘lchov bloklaridan olingan ma‘lumotlarni qayta ishlash va tahlil qilishni ta‘minlaydigan SCADA tizimlari qo‘llaniladi (3-rasm).

O‘lchov blokining tarkibiga quyidagi asosiy komponentlar kiradi:

- simli liniyaning asosiy joriy parametrlari o‘lchanadigan datchiklar guruhi;
- o‘lchangan ma‘lumotlarni qayd qilish bloki;
- ma‘lumotlarni uzatish tizimi;
- avtonom quvvat manbai moduli.

Monitoring tizimlarining funksional vazifasiga qarab turli xil datchik turlari qo‘llanilishi mumkin:

- simdagi tokni o‘lchash uchun;
- prolyotdagi sim haroratini o‘lchash uchun;
- osish nuqtalaridagi simning mexanik tarangligini o‘lchash uchun (tenzodatchiklar);
- momaqaldiraq trosi yoki faza simidagi optik tolalar sustlashuvini o‘lchash uchun;
- kritik egilish yoylarini o‘lchash uchun;
- ob-havo sharoitlarini o‘lchash uchun (meteorologik stansiya);
- simlarning vibratsion xususiyatlarini aniqlash uchun (akselerometrlar).

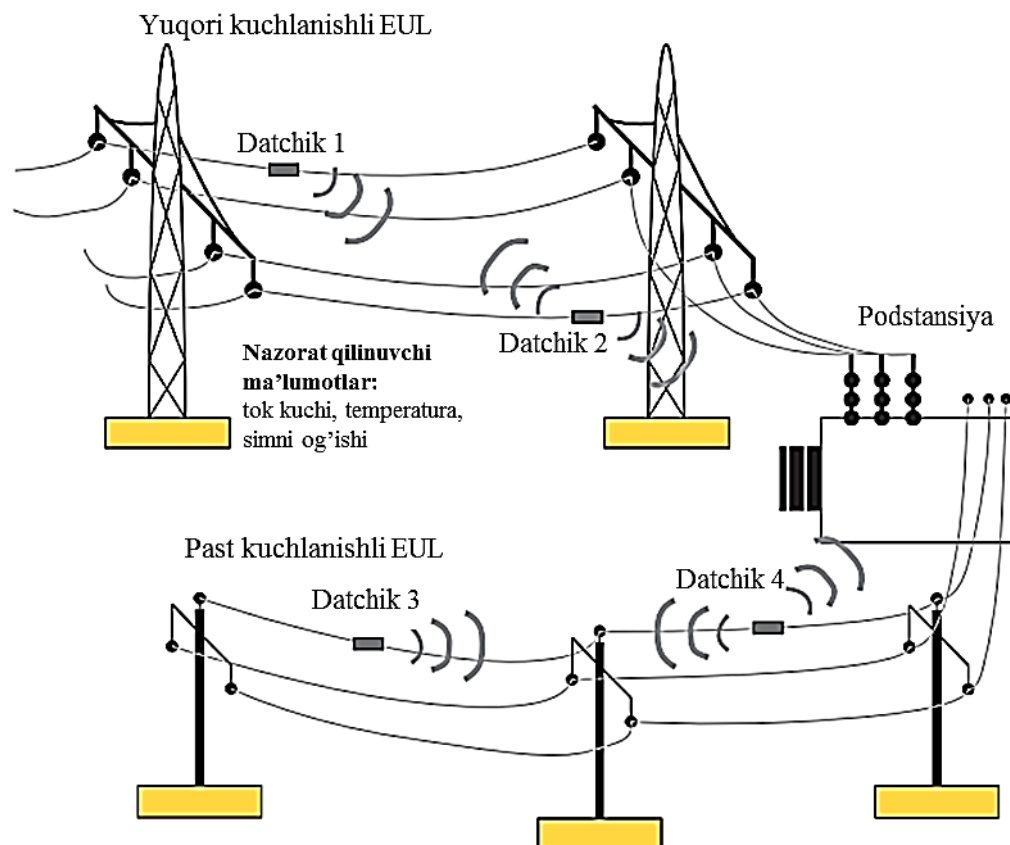
Tokni o‘lchash kontaktga kirmasdan amalga oshiriladi, buning uchun Holl effekti asosidagi datchiklar yoki Rogovskiy g‘altaklari qo‘llaniladi [5, 10].

Quvvatlantirish uchun ikki xil variant qo‘llaniladi:

- 1) EUL tayanch ustunlariga o‘rnatiladigan o‘lchov tizimlari odatda quyosh panellaridan quvvat oluvchi akkumulyator batareyalari bilan ta‘minlanadi.
- 2) EUL simlariga bevosita o‘rnatiladigan o‘lchov modullari esa tok transformatoridan quvvat oladi.

Tok transformatori energiyani to‘g‘ridan-to‘g‘ri elektr uzatish liniyasi simidan oladi. Transformatorning birlamchi chulg‘ami sifatida tok o‘tkazuvchi simning o‘zi ishlatiladi [12-13].

Hozirgi vaqtda havo EUL monitoring tizimlarining o‘lchov bloklarini



3-rasm. O'lchov bloki va monitoring markazi tuzilmasi

Fig. 3. Structure of the measurement unit and monitoring center

Transformatorning ikkilamchi chulg'ami – ferromagnit yurakchali toroidal g'altakdan iborat. Induksion quvvat manbai modulining tarkibiga tok transformatori, to'g'rilagich, energiya akkumulyatori (ionistor) va o'lchov qurilmasining barcha raqamli va analog tugunlarini ishlatib turuvchi kuchlanish o'zgartirgich kiradi.

3. Natija va muhokamalar (Results and discussion)

Hozirgi kunda havo EUL monitoring tizimlarida ma'lumotlarni uzatish uchun asosan simsiz aloqa kanallari ishlatiladi — bular GSM yoki ISM radio modullari bo'lib, ular 434, 868 MHz va 2,4 GHz chastotalarda ishlaydi [14].

GSM modullari avtomatlashtirilgan boshqaruv tizimlari bozorida o'n yildan ortiq vaqtdan beri qo'llanib kelinadi, shu jumladan monitoring tizimlarida ma'lumot uzatish uchun ham. Dastlabki modellarning imkoniyatlari faqat SMS xabarlar yuborish va analog rejimda ma'lumot uzatish bilan cheklangan edi. Bunday qurilmalar analog modem rejimida ishlaganda ma'lumot uzatish tezligi atigi 9,5 kbit/s bo'lib, ulardan foydalanish tarmoqda bo'lgan vaqtga qarab haq olinardi.

GPRS tizimi aloqa kanali davomida paketli kommutatsiyani amalga oshirib, GSM tarmog'idagi ma'lumot uzatish xizmatlarini ancha samarali qiladi. U deyarli darhol ulanishni ta'minlaydi, tarmoq resurslaridan faqat real ma'lumot uzatish vaqtida foydalanadi, bu esa mavjud chastota diapazonidan nihoyatda samarali foydalanishni kafolatlaydi. GPRS tarmog'i operator va bir nechta GPRS terminalli abonentlar guruhi o'rtasida ko'p nuqtali (multicast) uzatish xizmatini taqdim etadi. GPRS xizmatidan foydalanish uchun faqat uzatilgan va qabul qilingan ma'lumot hajmi bo'yicha haq to'lanadi, modemning tarmoqda qabul/qayta uzatish holatida bo'lgan vaqti hisobga olinmaydi.

O'lchov modullaridan monitoring tizimi serveriga ma'lumotlarni uzatish xBee turidagi Digi kompaniyasi radiomodemlari asosida yaratilgan simsiz tarmoq orqali amalga oshirilishi mumkin. Hozirda 868 MHz va 2,4 GHz chastotalarda ishlovchi transiverlar ishlab chiqariladi. Bu transiverlar to'g'ridan-to'g'ri ko'rinishda ma'lumotlarni 4 km gacha masofaga uzatishni ta'minlaydi. Backbone topologiyali ZigBee transiver tarmog'i asosida o'lchov modullaridan monitoring tizimi serveriga ma'lumotlarni estafeta usulida uzatish mumkin. Tarmoq bo'ylab uzatish yo'nalishi har doim server tomon yo'naltiriladi [15,16].



Ishonchlikni oshirish maqsadida aloqa zanjirini to'sib qo'yadigan muammoli tugunni muqobil aylanib o'tish imkoniyati nazarda tutilgan.

EUL doimiy ravishda ob-havo sharoitining ta'siriga duch keladi. Harorat, yog'ingarchilik, atmosfera bosimi, namlik hamda shamol tezligi va yo'nalishi EUL monitoringi uchun o'lchanishi zarur bo'lgan muhim parametrlar hisoblanadi.

EUL bo'ylab joriy ob-havo sharoitini bilish energiya o'chirishlar sonini kamaytirishga yordam beradi. Ob-havoni kuzatuvchi sensorlar va tizimlar EUL bo'ylab joylashtirilishi kerak. Energetika kompaniyalari elektr tarmoqlarini samarali boshqarish uchun ishonchli meteorologik ma'lumotlarga muhtojdir. Kuzatuv uchun to'liq avtonom meteorologik stansiyalar ham, shuningdek, ustunlarga o'rnatilgan masofaviy sensorlar to'plami ham ishlatilishi mumkin.

Ekspluatatsiya jarayonida simlarning shikastlanishi va eskirishi, shuningdek, izolyatorlarning ifloslanishi yoki teshib o'tilishi mumkin. Buning natijasida fazalararo oqishlar, qisqa tutashuvlar va yerga tutashuvlar yuzaga keladi. Bundan tashqari, tok o'tishi natijasida simlar qizib, kritik osilish paydo bo'lishi va simlarning yer yoki relyefdagi ob'ektlarga tegishi mumkin. Havo liniyalaridagi zararlarning ko'p qismi qisqa tutashuvlar va sim uzilishlaridan iborat. Shikastlangan joyni aniqlash va uni tiklash eng murakkab va ko'p vaqt talab qiladigan jarayon hisoblanadi. Qisqa tutashuvlar va uzilishlar katta energiya yo'qotishlariga olib keladi.

Havo liniyalarining o'tkazuvchanligi simlarning qizishi va elektr uzatish barqarorligi bilan cheklanadi. Liniya uzunligi oshishi bilan barqarorlik omili uzatiladigan quvvatning yuqori chegarasini belgilaydi. Simning osilishi (provis), EUL oralig'ida osilish strelasi bilan ifodalanadi va simning qizishi natijasidagi cho'zilishi hamda havo harorati va o'zi orqali o'tayotgan tok bilan bog'liq bo'ladi.

EUL loyihaviy hujjatlarida har bir oraliq uchun ruxsat etilgan osilish parametrlari ko'rsatiladi. Osilish ustunlarda joylashgan tormoz-datchiklar (tenzodatchiklar) yordamida yoki simning o'ziga o'rnatilgan akselerometrlar ma'lumotlari orqali bilvosita aniqlanishi mumkin. Bunda atrof-muhit va sim harorati hamda simdan o'tadigan tok inobatga olinadi. Ushbu ma'lumotlar yordamida xavfli ishlash rejimlarini aniqlash va zarur bo'lganda ruxsat etilgan tok yuklamasini o'zgartirish mumkin.

Muzlanish ham EUL uchun xavf tug'diradi. Qor bo'ronlari esa tizimning ishlashiga jiddiy sinov bo'lishi mumkin. -5 °C atrofida havo harorati va 5–10 m/s shamol tezligida muz va qirov EUL simlari va trosalarida hosil bo'ladi. Muzlanish barcha elementlarga qo'shimcha mexanik yuklamalar keltirib chiqaradi. Katta muz qatlamlari sim va trosalarning uzilishiga, armatura va izolyatorlarning shikastlanishiga, hatto ustunlarning qulashiga olib kelishi mumkin. Muzlanish simlarning "raqsga tushishi"ga, ya'ni o'zaro urilishiga sabab bo'ladi. Muzlanishning mavjudligini meteorologik datchiklar, osilish tormoz-datchiklari va akselerometrlar ma'lumotlarini tahlil qilib aniqlash mumkin.

Korona razryadi keskin notekis maydonlarda yuzaga keladi, bunda ionlanish jarayoni elektrodlar yaqinidagi tor sohada kechadi. EUL simlari elektr maydoni shunday maydonlarga kiradi. Korona tokining yuqori chastotali tarkibiy qismi keng chastotalar spektrida kuchli elektromagnit nurlanish manbai bo'lib, radio va televizion qabulga xalaqit beradi. Turli kuchlanishli liniyalar uchun korona yo'qotishlari o'z qiymatiga ega (masalan, 500 kV li EUL uchun o'rtacha yillik korona yo'qotishi 9–11 kVt/km atrofida). Korona razryadining mavjudligi GPS vaqt belgilariga sinxronlashtirilgan tok signallarining spektral tahlili orqali aniqlanadi.

Elektr energiyasini uzatishda asosiy muammolardan biri kuchlanish va tokning yuqori garmonik tarkibining elektr ta'minoti tizimi elementlariga ta'siridir. Nosinusoidal toklar tarmoq elementlarida qo'shimcha quvvat va energiya yo'qotishlariga sabab bo'ladi. Yo'qotishlar miqdori sinus shaklining buzilish darajasiga bog'liq. Asosan 3-, 5- va 7-garmonika yo'qotishlarga eng ko'p sabab bo'ladi.

Qo'shimcha yo'qotishlar garmonik tarkib va miqdor, ularning liniya bo'ylab taqsimlanishi, sim va trosalarning qarshiliklari kabi omillarga bog'liq. Aktiv quvvat va energiyaning yuqori qo'shimcha yo'qotishlari liniyalarda rezonans jarayonlar mavjudligini ko'rsatadi, bu uzatilayotgan energiya sifatining yomonlashishiga va jihozlar xizmat muddatining qisqarishiga olib keladi.

Tok garmonikalarini tahlil qilish, qisqa tutashuvlarni aniqlash, ularni tarmoq segmentlari darajasida lokallashtirish imkonini beradi. Tarmoq topologiyasidagi rezonans hodisalarini aniqlash yuklama bilan muvofiqlashtirishni yaxshilash va energiyani uzatishdagi yo'qotishlarni kamaytirish imkonini beradi.

Birinchi tijoriy monitoring tizimlaridan biri CAT-1 tizimi bo'lib, u 1991-yilda amerikalik The Valley Group, Inc. kompaniyasi tomonidan ishlab chiqilgan. Hozirgi vaqtda dunyo bo'yicha 300 dan ortiq CAT-1 tizimlari ishlatilmoqda. Tizim ustunlarga birlashtirish nuqtalarida sim tarangligini kuzatadi. Tizimning asosiy moduli EUL ustuniga o'rnatiladi va taxminan 50 kg ni tashkil qiladi. Sim tarangligini o'lchash datchiklari zanglamaydigan po'lat korpusdagi, montaj teshiklariga ega tormoz-datchiklardan iborat bo'lib, izolyator va ustun orasiga o'rnatiladi. Tenzodatchikning asosi o'lchov o'zgartirgich hisoblanadi [17].

CAT-1 asosiy moduli – bu namga chidamli alyuminiy korpus, unda elektronika bloki, o'rnatilgan modem, ma'lumot uzatish antennalari va montaj elementlari mavjud. Modul $-40...+60$ °C atrof-muhit

haroratida ishlash uchun mo'ljallangan. Uzluksiz ishlash 12 V li akkumulyator batareyasi, zaryadlash qurilmasi va quyosh paneli orqali ta'minlanadi (4-rasm).

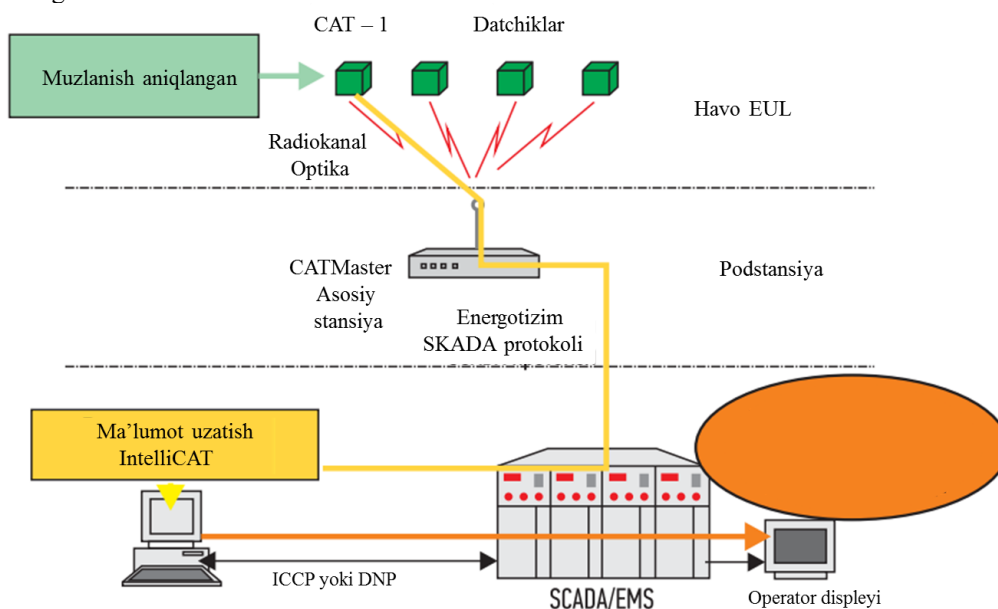


4-rasm. CAT-1 quvvat moduli. CAT-1 o'lchash modulini tayanchda o'rnatilishi.

Fig. 4. CAT-1 power module. Installation of the CAT-1 measurement module on the support.

O'lchovlarning soddaligiga qaramay, tizim patentlangan tahlil algoritmlaridan foydalangan holda havo EUL bir qator foydali parametrlarini aniqlash va hisoblash imkonini beradi. Bunday parametrlar qatoriga simlarning osilish strelasi, liniyaning tok o'tkazish qobiliyati hamda simlarda muzlanishning mavjudligi kiradi.

5-rasmda CAT-1 monitoring tizimining simlarda muzlanishni aniqlashga mo'ljallangan tuzilmasi tasvirlangan.



5-rasm. Simlardagi muzlanishni aniqlash uchun CAT-1 monitoring tizimidan foydalanish

Fig. 5. Use of the CAT-1 monitoring system for detecting ice formation on wires

Hozirgi vaqtda OTLM (Overhead Transmission Line Monitoring), ya'ni havo EUL ning o'tkazuvchanligini monitoring qilish tizimlari uchun o'lchov modullarini amalga oshirishning boshqa bir konsepsiyasi keng tarqaldi. CAT-1 monitoring tizimidan farqli ravishda, OTLM o'lchov moduli to'g'ridan-to'g'ri yuqori kuchlanishli simga o'rnatiladi [18].

Tokni o'lchash va modulni quvvat bilan ta'minlash kontaktlarsiz amalga oshiriladi. Qurilma simdan tok transformatori orqali olinadigan energiya hisobiga ishlaydi. OTLM tizimi simlarning harorati va ular orqali o'tayotgan tokni real vaqt rejimida o'lchash imkonini beradi.

4. Xulosa (Conclusion)

Energiyaga bo'lgan talabning ortib borishi energetika tizimlarini kuch kabel va simlarini ularning jismoniy imkoniyatlari chegarasida ishlatishga majbur qilmoqda. Shu bilan birga, xavfsizlik va samaradorlik masalalari tarmoq operatorlari uchun nihoyatda muhim ahamiyatga ega. Ular kabel trassasi bo'ylab sodir bo'layotgan jarayonlar, jumladan mahalliy qizish, simlarning kritik tebranishi, kritik osilishi va muzlanish kabi holatlar haqida to'liq ma'lumotga ega bo'lishi kerak.

Havo elektr tarmoqlarini monitoring qilish tizimlari qo'shimcha funksiyalarni ta'minlaydi va bu orqali elektr energiyasini uzatish samaradorligini oshirish hamda energiya yo'qotishlarini kamaytirish



imkonini beradi. Monitoring tizimlari nafaqat elektr energiyasini uzatishning ishonchliligini oshiradi, balki liniyalarga texnik xizmat ko'rsatish xarajatlarini ham kamaytirishga xizmat qiladi. Bu esa avariya uchastkalarini tezkor va aniq aniqlash, shuningdek trassa bo'ylab yuzaga kelishi mumkin bo'lgan muammoli vaziyatlarni oldindan prognozlash orqali amalga oshiriladi.

So'nggi vaqtlarda Rossiyada zamonaviy havo elektr tarmoqlarini monitoring qilish tizimlaridan foydalanish ayniqsa dolzarb bo'lib qoldi. Bunga ikki asosiy sabab mavjud: birinchidan, yirik avariya oqibatida yetkaziladigan zarar miqdori sezilarli darajada oshdi; ikkinchidan, ishlatilayotgan jihozlarning va simli liniyalarning kuchli eskirishi natijasida energetika tizimlarining ishonchliligi pasayib ketdi.

ADABIYOTLAR

1. Karimov X. G., Rasulov A. N., Taslimov A. D. Elektr tarmoqlari va tizimlari. O'quv qo'llanma //T.: Tafakkur qanoti. – 2015. – T. 9.
2. Самарин А. В., Рыгалин Д. Б., Шкляев А. А. Современные технологии мониторинга воздушных электросетей ЛЭП // Естественные и технические науки. 2012. № 1, 2
3. Жиленков Н. Новые технологии беспроводной передачи данных // СТА. 2003. №4.
4. Khawaja, A. H., Huang, Q., & Khan, Z. H. (2017). Monitoring of Overhead Transmission Lines: A Review from the Perspective of Contactless Technologies. *Sensing and Imaging*, 18(1).
5. Morozovska, K., Hilber, P. (2017). Study of the Monitoring Systems for Dynamic Line Rating. *Energy Procedia*, 105, pp. 2557–2562.
6. Greenwood, D. M., Gentle, J. P., Myers, K. S., Davison, P. J., West, I. J. (2014). A Comparison of Real-Time Thermal Rating Systems in the U.S. and the U.K. *IEEE Transactions on Power Delivery*.
7. Taslimov A. D. Impact of climate change on electrical energy losses in electrical networks //E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, 2023. – T. 384. – C. 01036.
8. Sanda, M., Kojima, T., Higashi, E., Maruyama, T., Iwama, N., & Sakai, O. (2018). Overhead Transmission Line Monitoring System for Dynamic Rating. *SEI Technical Review*, No. 87 (Oct 2018).
9. Vaccaro, A. (2016). A Reliable Computing Framework for Dynamic Line Rating of Overhead Lines. *Electric Power Systems Research*.
10. Sun, X., Huang, Q., Hou, Y., Jiang, L., & Pong, P. W. T. (2013). Non-contact operation-state monitoring technology based on magnetic-field sensing for overhead high-voltage transmission lines. *IEEE Transactions on Power Delivery*.
11. Chopra, X. Zhao, T. Keutel, M. Baldauf & O. Kanoun. (2023). Energy harvesting for a wireless-monitoring system of overhead high-voltage power lines. *IET Generation, Transmission & Distribution*.
12. Khujamatov H., Davronbekov D., Khayrullaev A., Abdullaev M., Mukhiddinov M., Cho J. (2024). Evaluation of the Reliability of IoT-Aided Remote Monitoring Systems of Low-Voltage Overhead Transmission Lines. *Sensors*, 24(18): 5970.
13. Davronbekov D.A., Matyokubov U.K. (2020). Reliability of the BTS-BSC system with different types of communication lines between them. *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*, 9(4): 6684–6689.
14. Davronbekov D.A., Khayrullaev A.F. (2023). Simsiz sensor tarmoqlarda qo'llaniladigan standart protokollar va texnologiyalar. *International Journal of Contemporary Scientific and Technical Research*, ss. 263–267.
15. Davronbekov D.A., Khayrullaev A.F. (2022). Models and algorithms for remote monitoring of the condition of overhead power lines. *Bulletin of TUIT: Management and Communication Technologies*, 2(9).
16. Костиков И. Система мониторинга САТ-1 - повышение пропускной способности и надежности в ЛЭП // Энергетика. 2011. № 3 (38).
17. Sirojiddin Khushiev, Oybek Ishnazarov, Obid Tursunov, Urolboy Khaliknazarov, Bekhzod Safarov (2020). Development of intelligent energy systems: the concept of smart grids in Uzbekistan. *E3S Web of Conferences*, 166: 04001.
18. Xayrullayev A.F. (2022). Past kuchlanishli havo elektr uzatish liniyalari uchun intellektual axborot monitoringi tizimlar tahlili. *Science and Innovation*, 2(Special Issue 3): 467–471.

REFERENCES

1. Karimov Kh. G., Rasulov A. N., Taslimov A. D. *Electric Networks and Systems*. Study Guide // Tashkent: Tafakkur qanoti. – 2015. – Vol. 9.
2. Samarin A. V., Rygalin D. B., Shklyayev A. A. *Modern Technologies for Monitoring Overhead Power Transmission Lines (OHL)* // Natural and Technical Sciences. 2012. No. 1, 2.
3. Zhilenkov N. *New Technologies of Wireless Data Transmission* // STA. 2003. No. 4.



4. Khawaja, A. H., Huang, Q., & Khan, Z. H. (2017). *Monitoring of Overhead Transmission Lines: A Review from the Perspective of Contactless Technologies*. *Sensing and Imaging*, 18(1).
5. Morozovska, K., Hilber, P. (2017). *Study of the Monitoring Systems for Dynamic Line Rating*. *Energy Procedia*, 105, pp. 2557–2562.
6. Greenwood, D. M., Gentle, J. P., Myers, K. S., Davison, P. J., West, I. J. (2014). *A Comparison of Real-Time Thermal Rating Systems in the U.S. and the U.K.* *IEEE Transactions on Power Delivery*.
7. Taslimov A. D. *Impact of Climate Change on Electrical Energy Losses in Electrical Networks // E3S Web of Conferences*. – EDP Sciences, 2023. – Vol. 384. – P. 01036.
8. Sanda, M., Kojima, T., Higashi, E., Maruyama, T., Iwama, N., & Sakai, O. (2018). *Overhead Transmission Line Monitoring System for Dynamic Rating*. *SEI Technical Review*, No. 87 (Oct 2018).
9. Vaccaro, A. (2016). *A Reliable Computing Framework for Dynamic Line Rating of Overhead Lines*. *Electric Power Systems Research*.
10. Sun, X., Huang, Q., Hou, Y., Jiang, L., & Pong, P. W. T. (2013). *Non-contact Operation-State Monitoring Technology Based on Magnetic-Field Sensing for Overhead High-Voltage Transmission Lines*. *IEEE Transactions on Power Delivery*.
11. Chopra, X., Zhao, T., Keutel, M., Baldauf, & O. Kanoun. (2023). *Energy Harvesting for a Wireless-Monitoring System of Overhead High-Voltage Power Lines*. *IET Generation, Transmission & Distribution*.
12. Khujamatov H., Davronbekov D., Khayrullaev A., Abdullaev M., Mukhiddinov M., Cho J. (2024). *Evaluation of the Reliability of IoT-Aided Remote Monitoring Systems of Low-Voltage Overhead Transmission Lines*. *Sensors*, 24(18): 5970.
13. Davronbekov D. A., Matyokubov U. K. (2020). *Reliability of the BTS-BSC System with Different Types of Communication Lines Between Them*. *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*, 9(4): 6684–6689.
14. Davronbekov D. A., Khayrullaev A. F. (2023). *Standard Protocols and Technologies Used in Wireless Sensor Networks*. *International Journal of Contemporary Scientific and Technical Research*, pp. 263–267.
15. Davronbekov D. A., Khayrullaev A. F. (2022). *Models and Algorithms for Remote Monitoring of the Condition of Overhead Power Lines*. *Bulletin of TUIT: Management and Communication Technologies*, 2(9).
16. Kostikov I. *CAT-1 Monitoring System – Increasing the Capacity and Reliability of OHL // Energy*. 2011. No. 3 (38).
17. Sirojiddin Khushiev, Oybek Ishnazarov, Obid Tursunov, Urolboy Khaliknazarov, Bekhzod Safarov (2020). *Development of Intelligent Energy Systems: The Concept of Smart Grids in Uzbekistan*. *E3S Web of Conferences*, 166: 04001.
18. Xayrullaev A. F. (2022). *Analysis of Intelligent Information Monitoring Systems for Low-Voltage Overhead Power Lines*. *Science and Innovation*, 2(Special Issue 3): 467–471.