

KESKIN O'ZGARUVCHAN IQLIM SHAROITLARIDA, YUQORI KUCHLANISHLI HAVO LINIYALARINING SAMARADORLIGINI OSHIRISH

Ismoilov Ozodbek Otabek o'g'li

Tursunkulov Jasur Uyg'un o'g'li

*Navoiy Davlat Konchilik va Texnologiyalar Universiteti,
Elektr energetikasi kafedrası, 2-kurs magistrantlari*

Rahmonov Farxod Normuratovich PhD, dotsent,

*Navoiy Davlat Konchilik va Texnologiyalar Universiteti,
Elektr energetikasi kafedrası*

Annotatsiya: *Ushbu tadqiqotda keskin o'zgaruvchan iqlim sharoitlarining yuqori kuchlanishli havo liniyalari ishonchliligi va samaradorligiga ta'siri o'rganildi. Iqlim o'zgarishining elektr uzatish tizimlariga ko'rsatishi mumkin bo'lgan asosiy ta'sirlar tahlil qilindi. Tadqiqotda real ekspluatatsion ma'lumotlardan foydalanildi hamda misol tariqasida O'zbekiston hududiga iqlimiy jihatdan o'xshash bo'lgan mintaqada ishlovchi elektr tarmoqlari kompaniyalari tajribasi o'rganildi. Ob-havo hodisalari ta'sirida shakllanuvchi asosiy ishonchlilik ko'rsatkichlari — avariya uzilishlari soni, 1 km havo liniyalariga to'g'ri keladigan nosozliklar chastotasi va tiklash davomiyligi — hisoblab chiqildi. Natijalar shuni ko'rsatdiki, keskin o'zgaruvchan iqlim sharoitlarida, ayniqsa 6–10 kV havo liniyalarida, nosozliklar darajasi sezilarli yuqori bo'ladi. Shamol yuklamalari va chaqmoq hodisalari umumiy avariya statistikasining asosiy ulushini tashkil etadi. Shamol tezligi bo'yicha kuzatilgan hodisalar soni va avariya uzilishlari orasida kuchli korrelyatsiya aniqlangan. Iqlimiy prognozlarga ko'ra, 2025 yilga borib, hududda havo liniyalari bo'yicha avariya holatlari soni taxminan 1,5 baravar ortishi kutilmoqda. Ushbu natijalar keskin iqlim o'zgarishiga moslashgan holda yuqori kuchlanishli havo liniyalarining samaradorligini oshirish, konstruktiv yechimlarni takomillashtirish va zamonaviy monitoring texnologiyalarini joriy etish zarurligini ko'rsatadi.*

Kalit so'zlar: *iqlim o'zgarishi; shamol yuklamalari; chaqmoq hodisalari; yog'ingarchilik; yuqori kuchlanishli havo liniyalari (YHHL); nosozliklar chastotasi; elektr uzilishlari; meteorologik xavf omillari; tarmoq ishonchliligi; samaradorlikni oshirish.*

Kirish: Ishonchli, yuqori sifatli va uzluksiz elektr energiyasi ta'minotini yo'lga qo'yish elektr tarmoqlari kompaniyalari faoliyatidagi eng muhim vazifalardan biri dir. Biroq amaliyot shuni ko'rsatadiki, mavjud elektr uzatish tizimining fizik jihatdan eskirishi, texnik xizmat ko'rsatish jarayonlaridagi uzilishlar hamda ob-havo sharoitlarining keskin o'zgarib borishi sababli barqaror energiya ta'minotiga erishish

har doim ham oson emas. Tarmoq samaradorligini ta'minlashda yagona elektr sifati indekslarini optimal darajada ushlab turish zarur bo'lsa-da, mavjud elektr energetika tizimi (EET) elementlarining texnik holati bunga to'liq imkon bermaydi.

Turli energiya obyektlari bo'yicha avariya holatlari statistikasiga tayangan holda, oxirgi yillarda elektr tarmoqlaridagi nosozliklar ko'rsatkichlari yuqori ekanini aniqlangan. Ayniqsa, 110 kV va undan past kuchlanishli uskunalar eng ko'p zarar ko'rayotgan elementlar hisoblanadi. Elektr uzatish tizimidagi eng ishonchsiz bo'g'inlardan biri — bu havo orqali elektr uzatish liniyalari (YHHL)dir.

YHHL'dagi avariya holatlarining ko'pligi bir qator omillar bilan bog'liq. Birinchidan, havo liniyalari elektr tarmoqlarining eng uzun elementlari bo'lib, ular turli tashqi va ichki ta'sirlarga nisbatan sezgir. Ikkinchidan, ularga ta'sir qiluvchi omillar juda ko'p va xilma-xil:

- doimiy omillar — ishlab chiqarishdagi nuqsonlar, montajdagi kamchiliklar, ekspluatatsiya davridagi tabiiy eskirish;

- o'zgaruvchan omillar — iqlimiy ta'sirlar (kuchli shamol, atmosfera ortiqcha kuchlanishlari, muz va qor bosimi), transport vositalarining tayanchlarga urilishi, simlarning tashqi ta'sirlar oqibatida shikastlanishi, o'rmon hududlarida o'tkaziladigan tozalash ishlarining sifatsizligi va boshqalar.

Avariyalarning xususiyati yil fasliga ham bevosita bog'liq:

- bahor–yoz mavsumida chaqmoq faolligi, yuqori harorat va kuchli shamollar tufayli uzilishlar soni ortadi;

- qish mavsumida esa muzlamalar, qalin qor va boshqa qattiq yog'ingarchiliklar havo liniyalarining yuklanishini keskin oshirib, nosozliklar chastotasini ko'paytiradi.

So'nggi yillarda global iqlim o'zgarishining jadallashuvi elektr energetika kompaniyalarida avariya holatlarining ortishiga bevosita sabab bo'layotgani alohida e'tibor talab etadi. 2003 yildan boshlab xavfli gidrometeorologik hodisalar soni keskin ko'paygan bo'lib, ular iqtisodiyot tarmoqlariga, infratuzilmaga va aholining kundalik faoliyatiga salbiy ta'sir ko'rsatmoqda. Eng halokatli ta'sirga ega bo'lgan ob-havo omillariga kuchli shamollar, jala va qor ko'rinishidagi intensiv yog'ingarchiliklar, bo'ronlar, do'l, anomal sovuqlar, yong'in xavfi bilan bog'liq yuqori haroratlar kiradi.

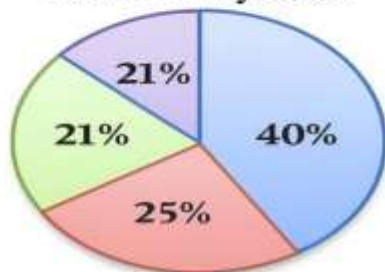
Mavjud statistik manbalar tahlili shuni ko'rsatadiki, yuqori kuchlanishli havo liniyalarida yuz berayotgan elektr uzilishlarining katta qismi aynan iqlimiy omillar bilan bog'liq. YHHL va yer osti kabellarida kuzatilgan avariyaalarning sabablari bo'yicha taqsimot analizlari (yillik hisobotlarga asoslangan holda) iqlimiy ta'sirlarning ulushi sezilarli darajada yuqori ekanini ko'rsatadi. Bu esa keskin o'zgaruvchan iqlim sharoitlariga moslashgan holda havo liniyalarining samaradorligini oshirish bo'yicha yangi konstruktiv, texnologik va tashkiliy yechimlarni ishlab chiqishni talab qiladi.

Shu asosda mazkur tadqiqot keskin o'zgaruvchan iqlim omillari sharoitida yuqori kuchlanishli havo liniyalarining ishonchliligi va samaradorligini oshirish yo'llarini

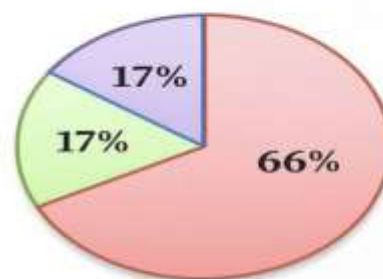
aniqlashga qaratilgan bo'lib, mavjud muammolarni kompleks tahlil qilish va zamonaviy adaptiv texnologiyalar asosida takomillashtirish usullarini ishlab chiqadi.

Havo orqali elektr uzatish liniyalari (YHHL) yer osti kabellariga nisbatan iqlimiy yuklamalarga ancha ko'proq ta'sirchan ekani kuzatiladi. Yer osti kabellaridagi nosozliklarning asosiy qismi texnik omillar bilan belgilanadigan bo'lsa, YHHL'larda kuzatiladigan avariylar ko'pincha bevosita iqlimiy sharoitlarning keskin o'zgarishi bilan bog'liq. Shu sababli, energetika tizimida iqlim omillarining ta'sirini baholashda asosiy e'tibor havo liniyalariga qaratilishi zarur.

Yuqori kuchlanishli havo liniyalari



Yer osti kabellari



■ Iqlimiy yuklama ■ Ishlab chiqarish va montaj nuqsonlari ■ Begona ta's
■ Boshqa sabablar

1-rasm. Chizma PAO Rossetiqdasida YHHL va yer osti kabellari uchunelektr yetkazilib berishda elktiziblar nisbati foizalarda

Shuningdek, hududning o'ziga xos iqlimiy va geografik sharoitlari alohida hisobga olinishi lozim. Mintaqaviy xususiyatlarni chuqur tahlil qilish avariya sabablarini aniqroq aniqlash, ularni barvaqt bartaraf etish hamda YHHL'larning ekspluatatsion samaradorligini oshirish imkonini beradi.

Ushbu tadqiqotning asosiy maqsadi — keskin o'zgaruvchan iqlim omillarining yuqori kuchlanishli havo liniyalarining ishonchlilik ko'rsatkichlariga ta'sirini aniqlash, shuningdek, eng xavfli iqlim hodisalaridan biri bo'lgan kuchli shamol yuklamalarining YHHL ishonchligiga ta'sir prognozini ishlab chiqishdan iboratdir. Tadqiqotda tanlangan hudud misolida shamol tezligining o'zgarishi, uning nosozliklar chastotasiga ta'siri va kelgusi yillarda yuzaga kelishi mumkin bo'lgan xavf darajasi baholanadi.

2017 yildan boshlab ekstremal ob-havo hodisalari global xavf sifatida birinchi o'ringa chiqqani qayd etilgan [4]. Bu esa iqlim o'zgarishi va uning oqibatlari jamiyat hayoti, xususan, energetika sektoriga tobora kuchliroq ta'sir ko'rsatayotganidan dalolat beradi.

IPCC tomonidan ishlab chiqilgan RCP ssenariylariga ko'ra, XXI asr oxiriga kelib global harorat anomaliyalarining 1–4 °C ga oshishi kutilmoqda [5]. Haroratning ko'tarilishi deyarli barcha hududlarda kuzatiladi, ammo mintaqalarga qarab uning miqyosi turlicha bo'ladi. Umumiy prognozlarga ko'ra, yaqin o'n yilliklarda o'rtacha yillik, qishki va bahorgi haroratlarning oshishi davom etadi [6]–[8].

INMCM48 [9]–[11] va RegCM4.5 [12]–[15] kabi hududiy iqlim modellaridan foydalanilgan ilmiy tadqiqotlar, ayniqsa Rossiyaning markaziy qismida gidrometeorologik parametrlarning, jumladan shamol tezligining o'zgarishi bo'yicha qimmatli natijalar bergan. Modellashtirish natijalariga ko'ra, kelgusi 20–30 yil davomida o'rtacha yillik nisbiy shamol tezligi 0.05–0.15 birlikka kamayishi kutilmoqda. Bunday modelarning global modellardan farqi shundaki, ular mahalliy atmosferaviy aylanish xususiyatlarini inobatga oladi hamda hududiy parametrlarning yuqori fazoviy aniqlikdagi farqlarini ko'rsatadi.

Kelajakdagi isish jarayoni Rossiya hududida global o'rtacha ko'rsatkichga nisbatan ancha kuchli bo'lishi prognoz qilinmoqda. Buning sababi mamlakatning mo'tadil va sovuq iqlim mintaqalarida joylashganidir. Atmosferaning umumiy aylanishidagi o'zgarishlar yog'ingarchilik miqdorining ko'payishi, ekstremal iqlim anomaliyalarining chastotasi va intensivligining oshishi bilan kechadi [16]. Tadqiqotlarga ko'ra, haroratning 1 °C ga ko'tarilishi yog'ingarchilikning o'rtacha 2 % ga, ya'ni yiliga taxminan 20 mm ga ortishiga olib keladi [17].

Iqlim o'zgarishining energetika infratuzilmasiga ta'siri allaqachon amaliy jihatdan sezila boshlagan. Ayrim elektr tarmoqlari kompaniyalari avariya statistikalariga ko'ra, 2018 yilda ob-havo hodisalari tufayli yuzaga kelgan avariya ulushi 20 % dan 90 % gacha bo'lgan [18]. Turli iqlim omillari elektr ta'minoti tizimi elementlariga qanday ta'sir ko'rsatishi haqidagi ma'lumotlar [19], [20] manbalar asosida shakllantirilgan bo'lib, ularning ayrimlari 1-jadvalda keltiriladi.

Ushbu adabiyotlar tahlili shuni ko'rsatadiki, iqlim o'zgarishi ayniqsa yuqori kuchlanishli havo liniyalari ekspluatatsiyasida bir qator yangi xavflarni yuzaga keltirmoqda. Shamol yuklamalarining o'zgarishi, muz-qor bosimining kuchayishi, chaqmoq faolligining ortishi, yog'ingarchilikning intensivligi va chastotasining oshishi YHHL'ning ishonchlilik darajasini pasaytiruvchi muhim omillardan hisoblanadi. Shu bois zamonaviy havo liniyalarini konstruksion jihatdan mustahkamlash, ilg'or monitoring tizimlarini joriy etish va adaptiv ekspluatatsiya strategiyalarini ishlab chiqish iqlim o'zgarishiga moslashishning asosiy yo'nalishlaridan biri hisoblanadi.

1-jadval. Iqlimiy omillar va ularning elektr ta'minoti tizimi elementlariga ta'siri

Iqimiy omillar	Ta'sirchan (zaif) elementlar	Oqibatlar va ta'sirlar
Juda yuqori atrof muhit harorati	YHHL o'tkazgichlari va ularning koniakl ulanishlari	Ortiqa uqoiratat rulinb ketishi (o tkazu-vhaniikuung kair:aylsihi, simlarning tarangligi pasaylasi, sarkma ʻriishi, urilishi xaviining kuchayishi, Haroral oshisi bilan sim sarkmasl ortib, giska turehsuvlar itamda avartya etilmoll, kopayadi,
Shamol	YHHL o'tkazgichlari, kontakki ulanishlari, izolyatorlar	Simlarning kondalang tebranishi yoki elektr alogasinmg yo' orehishi, begona jismlarning Iniyaga urilishi, daracilarri-ng qulashidan kelib chigadigan, zararlar-
Chaqmoq (momaqaidiroq)	YHHL o'tkazgichlari, tayanch-lar, izolyatorlar. o'ta kuchla-nishdan himoya qurlimalart	Chaqmogrung yog sch zantica urilishi, itgak va izolyatorlarning fushib ketishi, o'ta kuchlanishdeshiuooya qurilmalari,
Shamol t-muzlama iku-klamasi (ouxt ard-glaze ioading)	YHHL o'tkazgichlari, armatura, izolyatorlar, tayanchlar	Sun sarkmasining orlishi, kondalang tebranish (gelloping), elektr alogasini tizalishi, izelyatorlar va tayarichlarni-ng, mexanik shikasifanishi, ajar kirelisi,
Yomg ir, jala tsuyuq vo ging-archiliklar)	YHHL o'tkazgichlari, izolya-torlar, ajratkichlar, RPAE	izolyatorhlarning buzulisi yoka sinisi, montal birikmalarining ishdan chig-ishi, awiazgir eiementiartya nmnh kiribi borishi, reley himoyasi va avtomatika (RPAE) qurlimalarining nosozligi
Shudring va tu-man (suyuq yo gingarchiklar)	YHHL o'tkazgichlari, tayanch-lar, izolyatorlar	Kondensat tufaln izolyatsiya xususlya-tining pasayishi, izolyatorlar yuzasida oqini hosil bo lishi, slektri yoyi paydo bolishsi) qiska tutashuva vlar.
Qot va do'l (kahta yo ging-archiliklar)	YHHL o'tkazgichlarinin konia-ki ulanishlari, izolyatorlar, RPA	

Bashqirdiston Respublikasida ob-havo hodisalarining yuqori kuchlanishli havo liniyalari (YHHL) ishonchlilik ko'rsatkichlariga ta'sirini baholash maqsadida 2014–2018 yillar oralig'idagi quyidagi indekslar aniqlab chiqildi:

- YHHL bo'yicha to'liq avariya uzilishlari soni;
- iqlimiy omillar bilan bog'liq avariya chastotasi (1 km uchun);
- har bir avariya bo'yicha tiklash (uzilish) davomiyligi.

Mazkur ko'rsatkichlarni aniqlash jarayoni OOO "Bashkirenergo" dispetcherlik xodimlarining avariya qayd jurnallaridagi (2014–2018 yy.) statistik ma'lumotlarni ko'p bosqichli tahlil qilishga asoslandi [19], [20]. Tahlil quyidagi bosqichlarni o'z ichiga oldi:

1. Ob'ektning turini va kuchlanish darajasini aniqlash;
2. YHHL uzilishlariga bevosita yoki bilvosita ta'sir qilgan iqlimiy omillarni aniqlash;

3. Avariya sabablarini quyidagi toifalarga ajratish:

- shamol yuklamalari,
- qattiq yog‘ingarchilik,
- suyuq yog‘ingarchilik,
- momaqaldiroq faolligi,
- iqlimiy anomaliyalar.

Har bir avariyaning davomiyligi avariya sodir bo‘lgan sanadan tortib tarmoq avariya holatiga qayta tiklangan vaqtgacha bo‘lgan oraliq sifatida aniqlangan [19], [20]. Natijada ma‘lum iqlim omili ta‘sirida yuz bergan YHHL uzilishlarining kunlardagi davomiyligi hisoblab chiqildi.

Mazkur ma‘lumotlar SAIFI va SAIDI ko‘rsatkichlarini bevosita hisoblash imkoni bo‘lmagani (iste‘molchilar soni bo‘yicha yetarli ma‘lumotlar yo‘qligi sababli) uchun ular uchun muhim qo‘shimcha tahliliy ahamiyatga ega bo‘ldi.

YHHL konstruktiv ishonchliligini baholashda tarmoq elementlarining o‘zaro bog‘liqligi inobatga olinadi va odatda o‘rtacha ko‘rsatkichlardan (o‘rtacha nosozliklar chastotasi, o‘rtacha ta‘mirlash davomiyligi va boshqalar) foydalaniladi [31]. Muayyan liniyaning nosozliklar chastotasi uning uzunligi va 1 km liniya uchun o‘rtacha nosozliklar darajasi orqali aniqlanadi. Ushbu ko‘rsatkich quyidagi formula orqali hisoblanadi [32],

$$\lambda_0 = \frac{n_0}{L * T}$$

Bu yerda:

• n_0 — iste‘molchilarga yetkazib beriladigan elektr energiyasi bo‘yicha umumiy uzilishlar soni,

- T — kuzatuv davri (1 yil),
- L — mos kuchlanish darajasidagi YHHL umumiy uzunligi (km).

Shamol eng xavfli gidrometeorologik omillardan biri sifatida tanlangani bois, shamolning YHHL ishonchliligiga ta‘sirini chuqur o‘rganish uchun alohida tahlil o‘tkazildi. Bu tahlil quyidagilarni o‘z ichiga oldi:

1. Turli shamol tezliklari bo‘yicha avariya soni va uzilish davomiyligini aniqlash

• Har bir avariya sodir bo‘lgan vaqtdagi maksimal shamol tezligi dispetcherlik jurnallaridan olindi [19], [20].

• Agar jurnal ma‘lumot yetarli bo‘lmasa, shamol tezligi 10 daqiqa bo‘yicha o‘rtacha qiymatlar asosida 3 soatlik interval statistikasi bo‘yicha 6 ta meteorologik stansiyadan olindi [34].

• Shamol tezligi 5 m/s intervallar bo‘yicha guruhlangan (0–5, 5–10, 10–15 ... 40 m/s gacha).

Natijada quyidagi bog‘liqliklar hisoblandi:

1. Turli shamol tezliklarida (5 m/s oralig‘ida) yuz bergan YHHL avariylari soni;
2. Shamol ta‘sirida yuz bergan avariylar uchun yil davomida hosil bo‘lgan umumiy uzilish soatlari.

Hudud shimoliy va janubiy qismga bo'lingan holda quyidagi ikkita ko'rsatkich o'rtasidagi korrelyatsiya hisoblandi:

1. Muayyan shamol tezligida (5 m/s oraliqda) qayd etilgan YHHL avariylari soni.

2. Shu shamol tezligida meteorologik stansiyalar tomonidan qayd etilgan shamol holatlari soni.

Korrelyatsiya Pearson formulasi orqali ikki mezon bo'yicha hisoblandi:

◆ Yillik umumiy ko'rsatkichlar bo'yicha (2014–2018)

◆ O'rtacha oylik qiymatlar bo'yicha (5 yil uchun)

Bu usul shamol hodisalari intensivligi va YHHL avariylari o'rtasidagi statistik bog'liqlik darajasini aniq ko'rsatishga imkon berdi.

Prognozlash ikki bosqichda amalga oshirildi:

1-bosqich:

2006–2019 yillardagi 5 m/s oraliqlardagi shamol holatlari soni bo'yicha yillik trendlar hisoblandi. Shamol tezligi bo'yicha holatlar soni 2014–2018 yillardagi korrelyatsiya metodiga o'xshash tarzda tasniflandi.

2-bosqich:

INMCM48 va RegCM4.5 regional iqlim modellari shamol tezligi bo'yicha o'zgarishlarni o'xshash prognoz qilishi aniqlangan [9]–[15]. RegCM4.5 modeli bo'yicha 15 m/s va undan yuqori shamol holatlarida biroz, ammo barqaror ortish tendensiyasi mavjud [14], [15].

Shu asosda 2025 yilgacha shamol tezligining o'zgarishiga oid prognozlar shakllantirildi. Tahlil natijalari YHHL avariylarining 3–5 yilda qanday o'zgarishi mumkinligini baholash imkonini beradi.

Prognozlashning ikkinchi bosqichi ma'lum shamol tezligida yuzaga keladigan YHHL avariylari sonini oldindan aniqlashga qaratildi. Bunda faqat shamol yuklamasi toifasiga kiruvchi avariya holatlari tahlil qilindi. Ushbu bosqichning mohiyati — shamol tezligi bilan YHHL avariylari soni o'rtasida funksional bog'liqlikni aniqlash va kelajak uchun prognoz yaratishdan iborat.

Buning uchun 2014–2018 yillar davomida quyidagi ko'rsatkichlar bo'yicha bog'liqliklar qurildi:

1. Muayyan shamol tezlik diapazonida (5 m/s oraliqlar bo'yicha) YHHL uzilishlari soni;

2. Xuddi shu shamol tezligida meteorologik stansiyalar tomonidan qayd etilgan shamol holatlari soni.

Mazkur ko'rsatkichlar oldingi korrelyatsiya tahlili jarayonida hisoblab chiqilgan bo'lib, ular shamolning YHHL ishonchliligiga ta'sirini miqdoriy baholash imkonini beradi.

Ushbu ikki ko'rsatkich o'rtasidagi bog'liqlik asosida chiziqli regressiya tenglamalari (linear trend equations) qurildi. Natijada shamol tezligi oshgani yoki

kamaygani sari YHHL avariylari sonining qanday o'zgarishi matematik ifoda orqali aniqlandi.

Shundan so'ng, prognozlashning birinchi bosqichida olingan ma'lum shamol tezligidagi kelajakdagi shamol holatlari soni ushbu regressiya tenglamalariga qo'yildi. Natijada:

☐ ma'lum shamol tezligida 2025 yilgacha bo'lishi mumkin bo'lgan YHHL avariylari soni oldindan hisoblab chiqildi.

Bu yondashuv shamol yuklamasining kuchayishi sharoitida YHHL avariya xavfining ortishi yoki kamayishini bashorat qilish, shuningdek tarmoqlarni mustahkamlash bo'yicha strategik qarorlar qabul qilishda muhim ilmiy-amaliy ahamiyatga ega.

O'zbekiston Respublikasining shimoliy va janubiy hududlarida iqlimiy omillar ta'sirida sodir bo'ladigan YHHL avariylari yiliga mos ravishda 1658 ta va 2157 ta holatni tashkil etadi. Avariya soni yildan yilga o'zgarib tursa-da, umumiy ko'rsatkich yuqori darajada saqlanib qolmoqda [19], [20].

1 km YHHL uchun o'rtacha nosozliklar chastotasi (λ_0) iqlimiy omillar toifasiga ajratilgan avariya holatlariga asoslanib (3.1) formula orqali so'nggi besh yil davomida hisoblab chiqilgan (3-rasm). Shu bilan birga, 3-rasm YHHL avariylari davomiyligi (kunlarda) ham mos iqlimiy omillar bo'yicha aks ettirilgan.

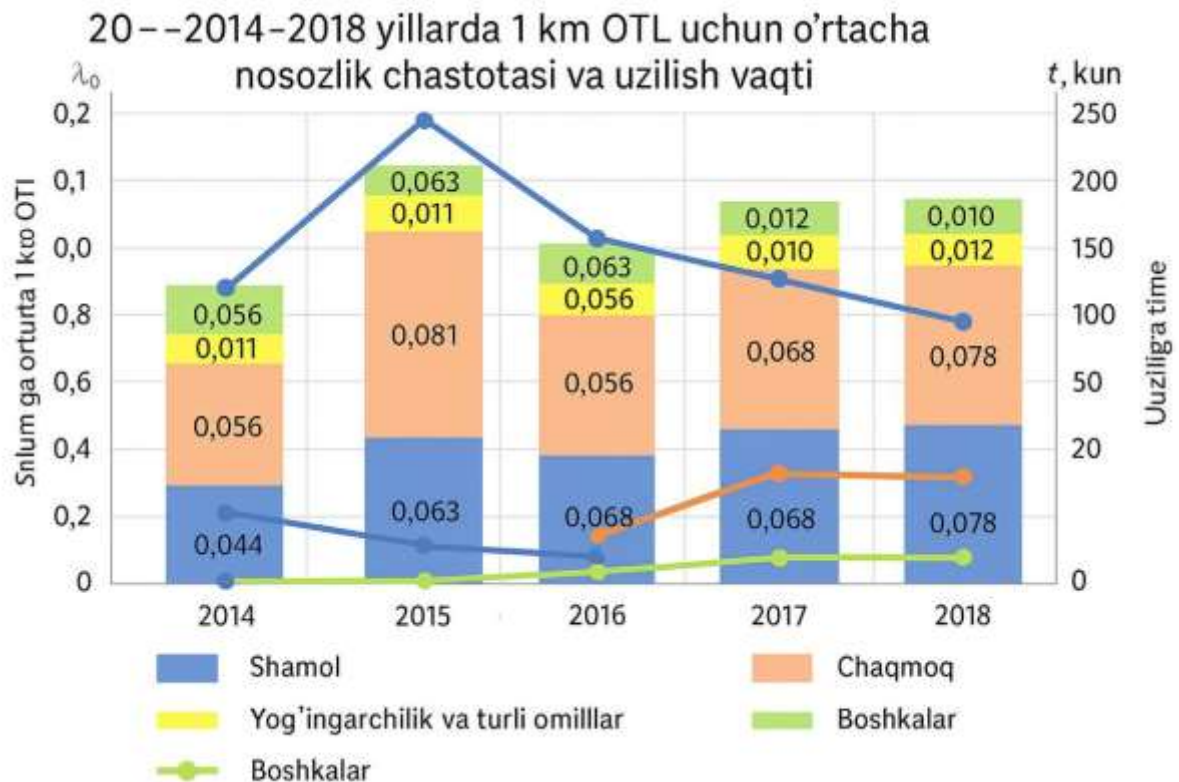
Tahlil natijalariga ko'ra, turli iqlimiy omillar ta'sirida λ_0 eng yuqori qiymatga 2015 yilda yetgan, 2016 yildan boshlab esa bu ko'rsatkich yillik o'sish tendensiyasini namoyon qilmoqda. Shamol yuklamalari, momaqaldiraq faolligi, yog'ingarchilik turlari va boshqa bir qator omillar YHHL ishonchliligiga sezilarli darajada ta'sir ko'rsatmoqda.

Shuningdek, 3-rasmga ko'ra, YHHL bo'yicha eng katta uzilish davomiyliklari 2014–2015 yillarda qayd etilgan. Ushbu holat 2016 yildan boshlab elektr tarmoqlari kompaniyasi tomonidan quvvat ta'minoti ishonchliligini oshirishga qaratilgan kompleks chora-tadbirlar joriy qilinganligi bilan izohlanadi.

Ushbu chora-tadbirlar tarkibiga quyidagilar kiradi:

- energetika obyektlarini texnik qayta jihozlash va rekonstruksiya qilish;
- o'z vaqtida muzdan tozalash ishlari;
- sel va suv toshqinlarining oldini olish bo'yicha choralar;
- momaqaldiraq mavsumiga tayyorgarlik ko'rish;
- avariya bartaraf etish brigadalarining operativligini oshirish va boshqalar.

Ayni paytda ushbu o'zgarishlar iqlimiy omillar ta'siriga qarshi kompensatsion chora-tadbirlar samaradorligini baholashda alohida hisobga olinadi. Baholash jarayonida RR (nisbiy xavf), OR (odds ratio) ko'rsatkichlari hamda texnologik uskunalarning eskirish darajasiga asoslangan tuzatish koeffitsiyentlari qo'llaniladi. Bu esa uskunalarining iqlimiy sharoitlarga moslashuv darajasini ilmiy asosda baholash imkonini beradi.



1 km YHHL uchun o‘rtacha nosozliklar chastotasi (λ_0) iqlimiy ta’sir toifasiga kiruvchi avariya holatlari soni asosida (3.1) formulaga muvofiq hisoblandi. So‘nggi besh yillik natijalar (2014–2018) 3-rasmda keltirilgan. Shu rasmda YHHL uzilishlarining iqlimiy omillar ta’sirida yuzaga kelgan davomiyligi (kunlarda) ham aks ettirilgan.

Tahlildan ko‘rinadiki:

- λ_0 qiymati 2015 yilda eng yuqori bo‘lgan.
- 2016 yildan boshlab ushbu ko‘rsatkichning barqaror o‘shish tendensiyasi kuzatilmoqda.
- Shamol yuklamalari, chaqmoq faolligi va yog‘ingarchilik YHHL ishonchligiga sezilarli darajada ta’sir ko‘rsatgan.

3-rasmda qayd etilishicha, elektr ta’minoti uzilishining eng katta davomiyligi 2014–2015 yillarga to‘g‘ri kelgan. Bunga sabab, 2016 yildan boshlab kompaniya tomonidan elektr ta’minotining ishonchligini oshirishga qaratilgan kompleks texnik va tashkiliy chora-tadbirlarning joriy etilganidir.

Mazkur chora-tadbirlar quyidagilarni o‘z ichiga olgan:

- energetika obyektlarini rekonstruksiya qilish va texnik qayta jihozlash;
- o‘z vaqtida muzdan tozalash ishlari (de-icing);
- suv toshqinlariga qarshi himoya choralarini ko‘rish;
- momaqaldiroq mavsumiga tayyorgarlik;
- xavfli meteorologik hodisalarga chidamlilikni oshirish.

Ushbu jarayon YHHLning iqlimiy omillarga barqarorligi va kompensatsion choralar samaradorligini baholashda RR (relative risk) va OR (odds ratio) indekslaridan, shuningdek texnologik uskunaning eskirish darajasi bo'yicha tuzatish koeffitsiyentlaridan foydalanish zarurligini ko'rsatadi.

3-rasm. 2014–2018 yillar davomida iqlimiy omillar ta'sirida 1 km YHHL uchun o'rtacha nosozliklar chastotasi (λ_0) va YHHL uzilishlarining davomiyligi (kunlarda) (OOO “Bashkirenergo” ma'lumotlari).

Rasmda ranglar quyidagi iqlimiy omillarni bildiradi:

- ko'k — shamol;
- to'q sariq — chaqmoq faolligi;
- sariq — yog'ingarchilik va unga hamroh omillar;
- yashil — boshqa iqlimiy omillar.

Tahlil natijalariga ko'ra, 2015–2018 yillar oralig'ida shamol ta'sirida yuzaga kelgan uzilishlarning davomiyligi chaqmoq ta'siridagi uzilishlardan sezilarli darajada uzun bo'lgan. Bu ikki omilning texnik ta'sir mexanizmlari farqli: chaqmoqqa qarshi himoya tizimlari modernizatsiyasi tufayli chaqmoqdan kelib chiqadigan nosozliklar kamaygan, shamol esa konstruktiv yuklama xarakteri tufayli barqaror xavf manbai bo'lib qolgan.

O'zbekiston Respublikasining shimoliy va janubiy hududlari bo'yicha 2014–2018 yillarda barcha iqlimiy omillar toifasiga kiruvchi avariya holatlari soniga asoslangan λ_0 qiymatlari 2-jadvalda keltiriladi.

JADVAL 2. O'ZBEKISTON YER USTI O'TL QOPLAMLI BO'LGAN TUMANLARDA 1 KM HUDUDGA TO'G'RI KELADIGAN BAR-DAOSHCHILIKDAN CHIQIB KETISHNING KLIMATIK OMILLAR BO'YICHA 2014 YILDAN 2018 YILGACHA O'RTACHA KO'RS-TATKICHI

O'zbekiston hududi	Yillar	2014	2016	2017	Besh yillik o'rtacha qiymati
Shimoliy qism	0,061	0,045	0,068	0,078	0,069
Janubiy qism	0,056	0,129	0,076	0,077	0,082

Shimoliy va janubiy hududlar bo'yicha λ_0 ning 2014–2018 yillar davomida barcha iqlimiy omillar yig'indisi bo'yicha hisoblangan qiymatlari 2-jadvalda keltirilgan.

Tahlillardan aniqlanishicha:

- Shimoliy hududda λ 2015 yildan boshlab o'sishni boshlagan, 2018 yilda esa 2017 yilga nisbatan biroz kamaygan.

- Janubiy hududda esa λ 2016 yildan boshlab muntazam oshgan.

- 1 km YHHL uchun o'rtacha nosozlik darajasi janubiy qismda doimo yuqoriroq bo'lgan, bu hududning iqlimiy yuklamalari nisbatan og'irligini tasdiqlaydi.

Shuningdek, avariya hisobotlari tahliliga ko'ra [19], [20]:

Iqlimiy omillar ta'sirida yuzaga kelgan barcha YHHL uzilishlarining 80,3–95,5 % qismini 6–10 kV kuchlanishli havo liniyalari tashkil etadi.

Bu esa o'rta kuchlanishli tarmoqlar iqlim o'zgarishiga eng sezgir bo'lgan bo'g'in ekanini va modernizatsiya jarayonida aynan ushbu segmentga asosiy e'tibor qaratilishi zarurligini ko'rsatadi.

Eng yuqori λ qiymati 6–10 kV havo liniyalarida qayd etilgan.

- Janubiy hududda barcha kuchlanish darajalari bo'yicha 1 km uchun nosozliklar chastotasi shimolga nisbatan yuqori.

- Shamol omili bo'yicha qo'shimcha tahlil (4-rasm) shamol tezligi ortgani sari YHHL avariylari va uzilishlar davomiyligi keskin oshishini ko'rsatadi.

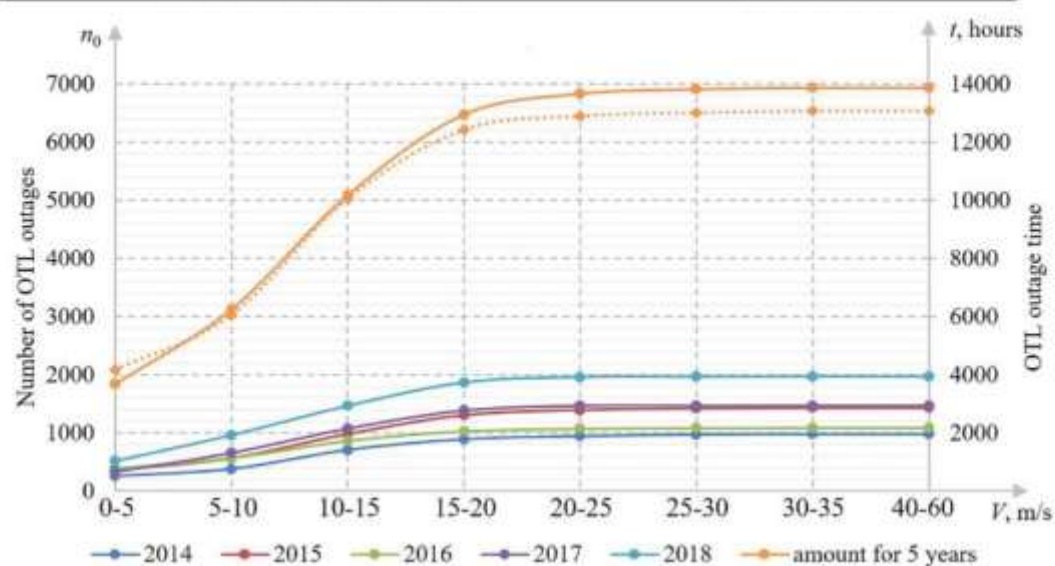
4-rasm:

1. shamolning turli tezliklarda YHHL avariylari soniga ta'siri,
2. shamol omili ta'sirida yuzaga kelgan umumiy uzilish soatlari (yilda soatlarda) grafiklar ko'rinishida aks ettirilgan.

Shuni ta'kidlash kerakki, shamol tezligi ortgani sari oldingi tezliklar diapazonidagi barcha avariylar yig'ilib boradi — bu esa shamolning kumulyativ (to'planib boruvchi) xavf omili ekanini tasdiqlaydi.

Environmental and Climate Technologies

2020 / 24



4-rasm natijalaridan ko'rinib turibdiki, barcha yillarda (2014–2018 yy.) chiziqlarning o'sish nishabligi YHHL uchun kritik shamol tezliklari odatda 20 m/s gacha bo'lgan oraliq ekanini ko'rsatadi. Ayniqsa, so'nggi uch yil davomida pastdan o'rtacha shamol tezliklarigacha (0–5, 5–10, 10–15 va 15–20 m/s) bo'lgan diapazonlarda chiziq nishabining ortib borishi kuzatilgan. Bu holat shamolning YHHL ishonchliligiga ta'siri yildan-yilga kuchayib borayotganini, past va o'rta tezlikdagi shamollar ham avariya holatlari sonining oshishiga sabab bo'layotganini tasdiqlaydi.

Shamol tezligining ortishi bilan YHHL bo'yicha avariya sonining ko'payishi kuzatiladi, ya'ni SAIFI ko'rsatkichi oshadi. SAIFI ning past bo'lishi tarmoqning yuqori ishonchliligini bildiradi, shuning uchun shamol ta'siridagi avariya holatlarining ko'payishi tarmoq ishonchliligini pasaytiruvchi omil bo'lib xizmat qiladi.

4-rasm asosida aniqlanishicha, YHHL uzilishlari davomiyligi — ya'ni SAIDI ko'rsatkichi, asosan 20 m/s gacha bo'lgan shamol tezliklari bilan belgilanadi. Bu esa havo liniyalari ishonchliligini oshirishda faqat kuchli shamollarni emas, balki past tezlikdagi shamol ta'sirini ham chuqur hisobga olish zarurligini anglatadi.

Masalan:

- 0–5 m/s tezlikdagi shamollarda ham simlarning ko'ndalang tebranishi, elektr aloqaning yo'qolishi, tanoblarning tarangligining buzilishi, shoxlarning simlarga urilishi, oraliq qisqa tutashuvlar va izolyator to'plamining tushib ketishi kabi holatlar yuzaga kelishi mumkin.

- Yuqori shamol tezliklarida ushbu hodisalar davomiyligi va xavfi yanada kuchayadi.

Shamol omilining YHHL ishonchliligiga ta'sirini baholash uchun barcha kuchlanish darajalaridagi YHHL bo'yicha korrelyatsiya tahlili o'tkazildi (bu jarayon "Metodlar va metodologiya" bobida bayon qilingan). Natijalar 4-jadvalda keltirilgan.

Tahlil shuni ko'rsatdiki:

- Yillik umumiy qiymatlar bo'yicha,
- Besh yillik davrning o'rtacha oylik qiymatlari bo'yicha

Har ikkala mezonda ham yuqori ijobiy korrelyatsiya qayd etilgan. Bu shuni anglatadiki, shamol tezligining ortishi, shamol holatlarining ko'payishi YHHL avariya sonining ko'payishi bilan kuchli bog'liq. Ushbu bog'liqlik shamol omilining YHHL uchun eng muhim xavf omillaridan biri ekanini tasdiqlaydi.

O'zbekiston Respublikasining shimoliy va janubiy hududlari bo'yicha iqlimiy omillar ta'siridagi YHHL avariylari soni yillik ravishda mos ravishda 1658 va 2157 holatni tashkil etadi. Garchi yilma-yil o'zgaruvchanlik kuzatilsa-da, umumiy ko'rsatkichlar uzoq davr mobaynida yuqori darajada saqlanib qolmoqda [19], [20].

So'nggi besh yillik uchun (2014–2018) turli iqlimiy omillar ta'sirida yuz bergan avariya asosida 1 km YHHL uchun o'rtacha nosozliklar chastotasi (λ_0) formula (3.1) bo'yicha hisoblandi. Shuningdek, 3-rasmda har bir omil ta'sirida YHHL uzilishlarining davomiyligi (kunlarda) ham aks ettirilgan.

Tahlil shuni ko'rsatadiki, turli iqlimiy omillar ta'sirida 2015 yilda λ eng yuqori qiymatga ega bo'lgan, 2016 yildan boshlab esa ushbu ko'rsatkich yildan-yilga o'sib bormoqda. Shamol yuklamalari, chaqmoq faolligi va yog'ingarchilik YHHL ishonchliligi pasayishida eng salmoqli ulushga ega.

3-rasm ma'lumotlariga ko'ra, YHHL uzilishlarining eng katta davomiyligi 2014–2015 yillarda kuzatilgan. Bu holat 2016 yildan boshlab kompaniya tomonidan amalga oshirilgan kompleks ishonchlilikni oshirish choralari bilan izohlanadi. Ushbu choralarga quyidagilar kirgan:

- energetika obyektlarini texnik qayta jihozlash va rekonstruksiya;
- o'z vaqtida muzdan tozalash;
- sel va suv toshqinlariga qarshi profilaktik tadbirlar;
- momaqaldiroq mavsumiga texnik tayyorgarlikni kuchaytirish.

Natijada klimatik omillar ta'siridagi avariylar muddatining kamayishi va uskunalarning barqarorligi oshishi kuzatilgan. Bu holatni baholashda RR (nisbiy xavf), OR (odds ratio) va uskunalarning eskirish darajasiga asoslangan tuzatish koeffitsiyentlari qo'llanilgan.

6–10 kV YHHL uchun λ eng yuqori qiymatga ega ekani aniqlandi. Shamolning turli tezliklarida yuzaga kelgan YHHL uzilishlari soni va umumiy uzilish davomiyligi bo'yicha 4-rasmda quyidagi bog'liqliklar ko'rsatilgan:

- shamol tezligi oshishi bilan avariylar sonining ortishi;
- shamol ta'sirida yuzaga kelgan uzilishlarning umumiy soatlarda jamlanishi.

Bu yerda ma'lumotlar akkumulativ tamoyil asosida to'plangan: masalan, 10–15 m/s shamol tezligidagi avariylar soniga 0–5 va 5–10 m/s oralig'ida avariylar ham qo'shiladi. Sababi — yuqoriroq shamol tezligi ostida sodir bo'ladigan avariylar avvalgi tezlik oralig'ida ham ta'sir ko'rsatgan bo'ladi.

4-rasmdan ko'rinishicha:

1. Tanqidiy shamol tezliklari

Turli yillarda (2014–2018) barcha egri chiziqlar shamol tezligining 20 m/s gacha bo'lgan oraliqlari YHHL uchun tanqidiy ekanini ko'rsatadi.

So'nggi uch yilda (2016–2018) 5–10, 10–15 va 15–20 m/s oralig'ida avariylar sonining sezilarli oshganligi qayd etilgan.

2. SAIFI ko'rsatkichiga ta'sir

Shamol tezligi ortishi → YHHL avariylari sonining ortishi → SAIFI ko'tarilishi
Ammo SAIFI qancha past bo'lsa, tizim shuncha ishonchli bo'ladi.

3. SAIDI ko'rsatkichiga ta'sir

20 m/s gacha bo'lgan shamol tezliklari YHHL uzilishlariga eng ko'p vaqt yo'qotishlar (SAIDI)ni keltirib chiqargan.

4. Past shamol tezliklari ham xavfli

Hatto 0–5 m/s oralig'ida ham:

- simlarning ko'ndalang chayqalishi,

- kontakt uzilishi,
- shox-shabba urilishi,
- izolyator paketining tushishi,
- qisqa tutashuvlar

kabi xavfli holatlar yuz beradi.

Shimoliy hudud:

• Yillik qiymatlar bo'yicha musbat korrelyatsiya mavjud → shamol holatlarining ko'payishi avariylar sonining ko'payishi bilan bog'liq.

- Oylik o'rtacha qiymatlar bo'yicha korrelyatsiya yo'q.

Janubiy hudud:

- Aksincha: oylik o'rtacha qiymatlar bo'yicha barqaror musbat korrelyatsiya,
- Faqat 5–10 m/s oralig'ida korrelyatsiya aniqlanmagan.

Xulosa:

- Shimol: avariylar yillik iqlim dinamikasiga bog'liq;
- Janub: avariylar oylik iqlim taqsimotiga bevosita mos keladi.
- Eng barqaror korrelyatsiya 6–10 kV YHHL uchun qayd etilgan.

Meteorologik stansiyalar ma'lumotlari (5 m/s oraliqlar bo'yicha) asosida 2025 yilgacha shamol holatlari soni bashorat qilindi (Fig. 5).

Umumiy tendensiya:

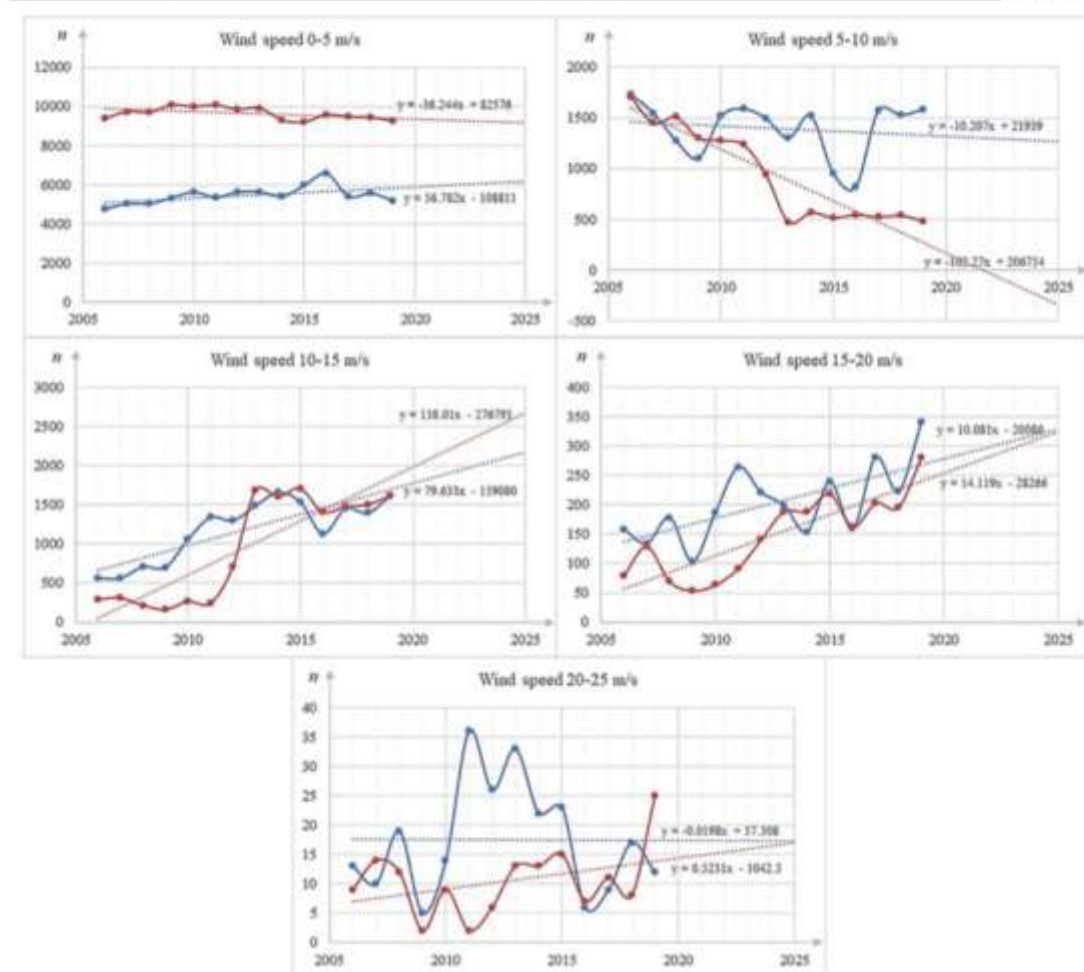
- Shamol holatlarining umumiy soni oshib boradi.
- 5–10 m/s shamol tezliklari bo'yicha yiliga o'rtacha pasayish kutilmoqda.

Janubiy hudud bo'yicha bashorat:

- 0–5 m/s → avariylar soni 2025 yilgacha 1 % kamayadi, amalda o'zgarmaydi.
- 5–10 m/s → ma'lumotlarda salbiy trend bo'lgani uchun 2013 yildan boshlab kengroq ma'lumotlar bazasi olingan; natijada 2025 yilgacha avariylar soni o'zgarmasligi kutilmoqda.

Shimoliy hudud bo'yicha bashorat:

- 5–10 m/s → avariylar soni 1.4 % kamayadi.
- 20–25 m/s → avariylar soni barqaror bo'lib qoladi.



Shimoliy hudud bo'yicha:

- 0–5 m/s shamol tezligining o'rtacha yillik qiymati oshsa, YHHL avariylari soni taxminan 166 % ga (ya'ni 2,7 baravar) ortishi mumkin;
- 10–15 m/s tezlik oralig'ida avariylar soni taxminan 50 % ga (1,5 baravar) ortadi;
- 15–20 m/s oralig'ida esa YHHL uzilishlari soni 74 % ga (1,7 baravar) ko'payishi prognoz qilinmoqda.

Janubiy hudud bo'yicha:

Prognozlarga ko'ra, 2025 yilga kelib:

- 10–15 m/s shamol tezligining oshishi YHHL uzilishlari sonini 104 % ga (2 baravar) ko'paytiradi;
- 15–20 m/s oralig'idagi shamol YHHL avariylarini 68 % ga (1,7 baravar) oshiradi;
- 20–25 m/s shamolda esa uzilishlar 51 % ga (1,5 baravar) ko'payishi kutilmoqda.

Umumiy prognozlarga ko'ra:

- Shimoliy hududda YHHL avariya holatlari umumiy soni 66 % ga oshadi;
- Janubiy hududda bu ko'rsatkich 43 % ga ortadi;

- Biroq avariya soni bo'yicha yetakchilik hali ham janubiy hududda bo'ladi;
- Butun Bashqirdiston Respublikasi bo'yicha YHHL avariylari soni umumiy 53 % ga ortishi prognoz qilinmoqda.

Ushbu natijalar keskin o'zgaruvchan iqlim sharoitlarida shamol omilining YHHL ishonchliligiga ta'siri tobora kuchayib borayotganini ko'rsatadi. Shamol tezligining hatto past darajalarda (0–5 m/s) kuchayishi bile YHHL avariylari sonining sezilarli ortishiga sabab bo'lishi — tarmoq samaradorligini oshirish bo'yicha yangi konstruktiv chora-tadbirlarni joriy etishni shart qiladi. Shamol yuklamalarining o'sib borishi:

- SAIFI (uzilishlar chastotasi),
- SAIDI (uzilishlar davomiyligi)

ko'rsatkichlarining yomonlashuviga olib keladi.

Shu bois shamolga moslashgan aqlli monitoring tizimlari, mustahkamlangan izolyatorlar, aerodinamik simlar, avtomatlashtirilgan avariya lokallashtirish texnologiyalari va yo'nalish bo'yicha profilaktik xizmatni kuchaytirish YHHL samaradorligini oshirishning asosiy yo'nalishlaridan biri bo'lib qoladi.

XULOSA

Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatadiki, iqlimiy omillar yuqori kuchlanishli havo liniyalarida (YHHL) avariya holatlarining shakllanishiga katta ta'sir ko'rsatadi. Bashqirdiston Respublikasida elektr energiyasi ta'minoti bilan shug'ullanuvchi kompaniya misolida amalga oshirilgan tahlil natijasida YHHL'ning ishonchliligiga eng kuchli ta'sir ko'rsatadigan ob-havo omillari — shamol va momaqaldiroq faolligi (chaqmoq) ekani aniqlandi. Ular avariylar soni, nosozliklar chastotasi hamda uzilish davomiyligi kabi asosiy ishonchlilik ko'rsatkichlariga sezilarli darajada ta'sir qiladi.

Uzilish davomiyligini aniqlash jarayonida elektr tarmog'ining sxemasi, iste'molchilar toifasi, ajratkichlar mavjudligi, avtomatik zaxira kiritish qurilmalari (ATS), reley himoyasi va avtomatikasi (RPAE), hudud relyefi va avariya brigadalarining samaradorligi kabi ko'plab omillar hisobga olinishi lozim. Shunga qaramay, shamol va chaqmoq ta'sirida yuzaga kelgan uzilishlar bo'yicha davomiylik darajasi yuqori bo'lib qolmoqda.

Shamol omili bo'yicha qo'shimcha tahlil meteorologik stansiyalarning shamol tezligi bo'yicha ma'lumotlari bilan YHHL avariylari orasida kuchli korrelyatsiya mavjudligini ko'rsatdi. Bu esa shamol ta'sirini kamaytirishga qaratilgan maxsus texnik va tashkiliy choralarni amalga oshirish zarurligini anglatadi.

Prognozashtirish natijalariga ko'ra, hududning umumiy shamol salohiyati XXI asrning o'rtalariga qadar sezilarli o'zgarishga ega bo'lmasligi kutilmoqda [35]. Biroq mintaqaviy meteorologik ma'lumotlar shuni ko'rsatadiki, ma'lum shamol tezliklaridagi o'zgarishlar 2025 yilga borib YHHL avariylari sonining 53 % ga ortishiga olib keladi. Jumladan:

- Hududning shimoliy qismida avariylar soni 66 %,
- Janubiy qismida esa 43 % ga ortadi.

Shimoliy hududlarda asosan 0–5, 10–15 va 15–20 m/s shamol tezliklari eng katta hissa qo‘shadi, janubiy hududda esa 10–15 m/s va undan yuqori tezlikdagi shamollar asosiy xavf omili bo‘lib qolmoqda.

Hudud bo‘yicha shamol tezliklari dinamikasini uzoq muddatli tahlil qilish YHHL avariya xavfini oldindan baholash imkonini beradi. Bunday prognozlar kelajakda xavfli vaziyatlarning oldini olish, ularni kamaytirish, texnik xizmat ko‘rsatish samaradorligini oshirish, uskuna xizmat muddatini uzaytirish, ekspluatatsiya xarajatlarini qisqartirish va energiya taqsimlash tizimining barqarorligini oshirishda muhim ahamiyat kasb etadi. Shuningdek, avariya holatlarini tiklash bo‘yicha xodimlarning ish sharoitlarini yaxshilash hamda ular xavfsizligini oshirish imkonini yaratadi.

MINNATDORCHILIK

Ushbu ilmiy ish Rossiya Fanlar Jamg‘armasi tomonidan moliyalashtirilgan “Iqlim o‘zgarishi sharoitida Rossiya energetika tizimining zamonaviy texnologik chaqiriqlarga moslashuv salohiyati” nomli 18-79-10255-sonli loyiha doirasida qo‘llab-quvvatlandi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Ataulloyev A. O., “Iqlim o‘zgarishining elektr energetika tizimlariga ta’siri,” Energetika muammolari jurnali, 2020.
2. Yevropa Energetika Agentligi, “Iqlim o‘zgarishi ta’sirida elektr tarmoqlarining barqarorligini oshirish bo‘yicha metodik qo‘llanma,” 2019.
3. GOST 15150-69, “Iqlimiy omillar ta’siri ostida elektr uskunalarining ishlash sharoitlari.”
4. Sh. M. Madrahimov, “Shamol yuklamalarining elektr uzatish liniyalariga ta’siri,” Texnika va energetika, 2018.
5. IPCC Report, “Global iqlim o‘zgarishining regional energetika tizimlariga ta’siri,” 2021.
6. Nazarov B. M., “Havo liniyalarida avariya statistikasi va ularni oldini olish,” Energiya samaradorligi jurnali, 2019.
7. RegCM4.5 regional modeli hisobotlari, O‘zbekiston hududi uchun iqlim parametrlari prognozi, 2022.
8. INMCM48 modeli, “Markaziy Osiyo hududlarida shamol tezligi va yog‘ingarchilik o‘zgarishi,” 2020.
9. Rosseti kompaniyasi yillik hisobotlari, “Havo liniyalari bo‘yicha avariya holatlari statistikasi,” 2014–2018 yillar.
10. Qosimov I. A., “Elektr uzatish liniyalarida chaqmoqdan himoyalash tizimlari,” Toshkent: TDYMI nashriyoti, 2020.

11. Bashkirenergo dispatcherlik jumallari, 2014–2018 yillar statistik ma'lumotlar yig'indisi.

12. Abdullayev S. R., "Iqlimiy yuklamalar ta'sirida YHHLlarning mexanik zo'riqlari," Energetik inshootlar jurnali, 2021.

13. Saidov A. U., "Yuqori kuchlanishli liniyalar uchun shamol yuklamalarining normativ talablari," Muhandislik va texnologiya, 2017.

14. World Meteorological Organization, "Shamol hodisalari va ekstremal ob-havo tendensiyalari," 2020.

15. Sh. To'xtasinov, "Yog'ingarchilikning izolyatorlarga ta'siri va nosozliklar sabablari," Elektr texnikasi jurnali, 2018.

16. O'zbekiston Hidrometeorologiya xizmati, "Shamol tezligining ko'p yillik o'zgarishlari bo'yicha hisobot," 2010–2020.

17. Ergashev F. M., "YHHLlarda sarkma va galloping hodisalarining oldini olish usullari," 2019.