

YUQORI KUCHLANISHLI ELEKTR UZATISH LINIYALARIDA TOJLANISH HODISASI VA ENERGIYA YO'QOTISHLARINING NAZARIY ASOSLARINI TAHLIL QILISH



Tovboyev A.N.,
Navoiy davlat konchilik va
texnologiyalar universiteti, DSc,
dotsent



Tog'ayev I.B.,
Navoiy davlat konchilik va
texnologiyalar universiteti,
doktorant

Annotatsiya. Ushbu maqolada yuqori kuchlanishli elektr uzatish liniyalarida yuzaga keladigan tojlanish hodisasi va u bilan bog'liq quvvat hamda elektr energiyasi yo'qotishlarining nazariy asoslari monitoring texnologiyalariga tayangan holda tahlil qilingan. Tadqiqotning asosiy maqsadi yuqori kuchlanishli havo elektr uzatish liniyalarining real ekspluatatsiya sharoitida ishlash holatini aniqlik bilan baholash hamda tojlanish natijasida yuzaga keladigan energiya yo'qotishlarini hisobga oluvchi ilmiy asoslangan monitoring yondashuvini ishlab chiqishdan iborat. Mazkur tadqiqot doirasida elektr uzatish liniyalarida elektr maydon kuchlanganligi, kuchlanish darajalari, yuklama rejimlari hamda tashqi muhit omillarining tojlanish jarayoniga ta'siri nazariy va amaliy jihatdan o'rganilgan. Tadqiqot jarayonida tizimli tahlil, elektromagnit jarayonlarni matematik modellashirish, eksperimental o'lchashlar hamda statistik ma'lumotlarni qayta ishlash usullaridan foydalanilgan. Bunda tojlanish yo'qotishlari va yuklama yo'qotishlarining kuchlanish darajasiga bog'liqligi aniqlanib, elektr uzatish liniyalarining optimal ish kuchlanishini tanlashda ushbu yo'qotishlar o'rtasidagi nisbatni baholash mezonlari ishlab chiqilgan. Monitoring asosida olingan natijalar yuqori kuchlanishli tarmoqlarda energiya yo'qotishlarini kamaytirish va ekspluatatsion samaradorlikni oshirish imkoniyatlarini ko'rsatib beradi. Maqolaning ilmiy yangiligi elektr uzatish liniyalarida tojlanish hodisasini real vaqt rejimida monitoring qilish orqali energiya yo'qotishlarini aniqlash va ularni nazariy modellar bilan integratsiyalashgan holda baholashga asoslangan yondashuvni taklif etishda namoyon bo'ladi. Olingan natijalar elektr energetika tizimlarini loyihalash va ekspluatatsiya qilish amaliyotida qo'llash uchun muhim ilmiy va amaliy ahamiyatga ega. Shuningdek, tadqiqot natijalari yuqori kuchlanishli liniyalarda diagnostika ishonchligini oshirish, avariya xavfini oldindan bashoratlash, raqamli energetikaga mos monitoring tizimlarini joriy etish hamda adaptiv boshqaruv algoritmlarini shakllantirish uchun metodik asos bo'lib xizmat qiladi.

Kalit so'zlar. Tojlanish, monitoring, yo'qotishlar, kuchlanganlik, rejimlar, samaradorlik.

АНАЛИЗ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ОСНОВ ЯВЛЕНИЯ КОРОНИРОВАНИЯ И ПОТЕРЬ ЭНЕРГИИ В ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ЛИНИЯХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Товбаев А.Н., Тогаев Л.Б.

Навоийский государственный горно-технологический университет, Республика Узбекистан

Аннотация. В данной статье на основе мониторинговых технологий выполнен анализ теоретических основ коронного разряда, возникающего в высоковольтных воздушных линиях электропередачи, а также связанных с ним потерь мощности и электрической энергии. Основной целью исследования является точная оценка эксплуатационного состояния высоковольтных воздушных линий электропередачи в реальных условиях работы и разработка научно обоснованного мониторингового подхода, учитывающего энергетические потери, обусловленные коронным разрядом. В рамках исследования с теоретической и практической точек зрения изучено влияние напряжённости электрического поля, уровней напряжения, режимов нагрузки и факторов внешней среды на процесс коронного разряда в линиях электропередачи. В процессе исследования использованы методы системного анализа, математического моделирования электромагнитных процессов, экспериментальных измерений и статистической обработки данных. Установлена зависимость коронных и нагрузочных потерь от уровня напряжения, а также разработаны критерии оценки соотношения указанных потерь при выборе оптимального рабочего напряжения линий электропередачи. Результаты, полученные на основе мониторинга, демонстрируют возможности снижения энергетических потерь и повышения эксплуатационной эффективности высоковольтных электрических сетей. Научная новизна работы заключается в предложении подхода к определению энергетических потерь на основе мониторинга коронного разряда в реальном времени с последующей интеграцией полученных данных с теоретическими моделями для их оценки. Полученные результаты имеют важное научное и практическое значение для проектирования и эксплуатации электроэнергетических систем. Кроме того, результаты исследования служат методической основой для повышения надёжности диагностики высоковольтных линий, заблаговременного прогнозирования аварийных ситуаций, внедрения мониторинговых систем, соответствующих требованиям цифровой энергетики, а также формирования адаптивных алгоритмов управления.

Ключевые слова: коронный разряд, мониторинг, потери, напряжённость электрического поля, режимы работы, эффективность.

ANALYSIS OF THE THEORETICAL FOUNDATIONS OF CORONA DISCHARGE PHENOMENA AND ENERGY LOSSES IN HIGH-VOLTAGE POWER TRANSMISSION LINES

Tovbayev A.N., Togayev L.B.

Navoi State University of Mining and Technologies, Republic of Uzbekistan

Аннотация. В данной статье на основе мониторинговых технологий выполнен анализ теоретических основ коронного разряда, возникающего в высоковольтных воздушных линиях электропередачи, а также связанных с ним потерь мощности и электрической энергии. Основной целью исследования является точная оценка эксплуатационного состояния высоковольтных воздушных линий электропередачи в реальных условиях работы и разработка научно обоснованного мониторингового подхода, учитывающего энергетические потери, обусловленные коронным разрядом. В рамках исследования с теоретической и практической точек зрения изучено влияние напряжённости электрического поля, уровней напряжения, режимов нагрузки и факторов внешней среды на процесс коронного разряда в линиях электропередачи. В процессе исследования использованы методы системного анализа, математического моделирования электромагнитных процессов, экспериментальных измерений и статистической обработки данных. Установлена зависимость коронных и нагрузочных потерь от уровня напряжения, а также разработаны критерии оценки соотношения указанных потерь при выборе оптимального рабочего напряжения линий электропередачи. Результаты, полученные на основе мониторинга, демонстрируют возможности снижения энергетических потерь и повышения эксплуатационной эффективности высоковольтных электрических сетей. Научная новизна работы заключается в предложении подхода к определению энергетических потерь на основе мониторинга коронного разряда в реальном времени с последующей интеграцией полученных данных с теоретическими моделями для их оценки. Полученные результаты имеют важное научное и практическое значение для проектирования и эксплуатации электроэнергетических систем. Кроме того, результаты исследования служат методической основой для повышения надёжности диагностики высоковольтных линий, заблаговременного прогнозирования аварийных ситуаций, внедрения мониторинговых систем, соответствующих требованиям цифровой энергетики, а также формирования адаптивных алгоритмов управления.

Ключевые слова: коронный разряд, мониторинг, потери, напряжённость электрического поля, режимы работы, эффективность.

Kirish

Yuqori kuchlanishli havo elektr uzatish liniyalarida yuzaga keladigan tojlanish hodisasi va u bilan bog'liq bo'lgan quvvat hamda elektr energiyasi yo'qotishlarining shakllanish mexanizmlarini monitoringga asoslangan nazariy tahlil qilish elektr energetika tizimlarida energiya uzatish jarayonlarining fizik tabiatini chuqur tadqiq etishni talab etuvchi murakkab ilmiy-texnik muammo hisoblanadi. Tojlanish jarayoni elektr maydon kuchlanganligining o'tkazgich sirtida kritik qiymatlardan oshishi natijasida gaz muhitining qisman ionlanishi bilan tavsiflanib, bu hodisa yuqori kuchlanishli elektr uzatish liniyalarida nochiqliq, elementlar va vaqt bo'yicha o'zgaruvchan energiya yo'qotishlarining vujudga kelishiga sabab bo'ladi. Mazkur yo'qotishlar elektr tarmog'ining konstruktiv-parametrik xususiyatlari, o'tkazgichlarning geometrik konfiguratsiyasi, fazalararo masofalar, kuchlanish darajalari, yuklama rejimlari hamda atmosfera muhitining fizik holati bilan murakkab funksional bog'liqlikda namoyon bo'ladi [1]. An'anaviy hisobiy va empirik modellar yuqori kuchlanishli liniyalardagi tojlanish yo'qotishlarini baholashda real ekspluatatsiya sharoitlarini to'liq aks ettira olmasligi, shuningdek tashqi omillarning tasodifiy ta'sirlariga yuqori sezgirligi bilan ajralib turadi. Shu sababli tojlanish hodisasi natijasida yuzaga keladigan quvvat va energiya yo'qotishlarini aniqlashda monitoringga asoslangan yondashuvlarni qo'llash zarurati vujudga keladi. Monitoring tizimlari yordamida elektr maydonning mahalliy va integral parametrlari, yuqori chastotali elektromagnit nurlanishlar, tok va kuchlanishning vaqt bo'yicha o'zgaruvchan xarakteristiklari uzluksiz qayd etilib, ushbu ma'lumotlar asosida tojlanish yo'qotishlarini real vaqt rejimida identifikatsiya qilish imkoniyati yaratiladi. Monitoring natijalariga tayangan holda amalga oshiriladigan nazariy tahlil elektr uzatish liniyalarida yuklama yo'qotishlari va tojlanish yo'qotishlari o'rtasidagi nisbatni aniqlash, optimal kuchlanish darajalarini asoslash, reaktiv quvvatni boshqarish strategiyalarini takomillashtirish hamda elektr energetika tizimlarining barqaror va energiya samarador ish rejimlarini shakllantirishga xizmat qiladi. Ushbu yondashuv yuqori kuchlanishli elektr uzatish liniyalarini ekspluatatsiya qilishda energiya yo'qotishlarini kamaytirishga

qaratilgan ilmiy asoslangan qarorlarni ishlab chiqish uchun nazariy tizim vazifasini bajaradi [2-4]. Yuqori kuchlanishli elektr uzatish liniyalarida tojlanish hodisasi natijasida yuzaga keladigan nochiqliq quvvat va elektr energiyasi yo'qotishlari elektr energetika tizimlarining umumiy samaradorligi, ishonchiligi va barqaror ish rejimlariga sezilarli ta'sir ko'rsatadi. Mavjud nazariy va empirik yondashuvlar ushbu yo'qotishlarni baholash imkonini bersa-da, ularning aksariyati real ekspluatatsiya sharoitlarida yuzaga keladigan kuchlanish tebranishlari, yuklama rejimlarining o'zgaruvchanligi hamda tashqi muhit omillarining kompleks ta'sirini yetarli darajada hisobga olmaydi. So'nggi yillarda tojlanish jarayonlarini tahlil qilishga bag'ishlangan ilmiy tadqiqotlar va nashrlar soni ortib bormoqda, biroq ushbu ishlarida monitoring ma'lumotlarini yuklama yo'qotishlari bilan integratsiyalashtirish holda baholash, metrologik aniqlikni ta'minlash hamda olingan natijalarni elektr energetika tizimlarining ish rejimlarini optimallashtirishga yo'naltirish masalalari to'liq hal etilmagan. Shu munosabat bilan yuqori kuchlanishli elektr uzatish liniyalarida tojlanish bilan bog'liq energiya yo'qotishlarini real vaqt rejimida aniqlash, ularning shakllanish qonuniyatlarini nazariy asoslash va monitoring natijalarini tizimning barqaror hamda energiya samarador ish rejimlarini ta'minlashga qaratilgan qarorlar qabul qilish jarayonlariga integratsiya qilishga bo'lgan ehtiyoj mazkur tadqiqotning dolzarbligini belgilaydi. Ushbu tadqiqotning asosiy maqsadi yuqori kuchlanishli havo elektr uzatish liniyalarida tojlanish hodisasi va unga bog'liq energiya yo'qotishlarini monitoring asosida ilmiy jihatdan asoslangan holda baholash hamda ularni elektr energetika tizimlarini loyihalash va ekspluatatsiya qilish amaliyotida qo'llash imkoniyatlarini aniqlashdan iborat [5-9].

Metodlar

Mazkur tadqiqot yuqori kuchlanishli havo elektr uzatish liniyalarida yuzaga keladigan tojlanish hodisasi va u bilan bog'liq quvvat hamda elektr energiyasi yo'qotishlarini monitoring ma'lumotlariga tayangan holda nazariy-analitik va hisoblash modellarini integratsiyalashtirish orqali tahlil qilishga yo'naltirilgan ko'p darajali metodologik yondashuv asosida amalga oshirildi. Tadqiqot tuzilmasi tojlanish jarayonining fizik mohiyatini ifodalovchi elektromagnit modellarni shakllantirish, real

ekspluatatsiya sharoitida o'lgan monitoring ma'lumotlari bilan ularni identifikatsiya qilish hamda natijalarni elektr energetika tizimlarining ish rejimlarini optimallashtirish masalalariga qo'llash bosqichlarini qamrab oladi. Elektr tarmoqlaridagi isroflarni aniqlash va tahlil qilishda bir nechta kattaliklarni inobatga olish ko'zda tutilmoqda. Tojlanish yo'qotishlari quvvatning birligiga tushadigan yo'qotishlar va hisoblash davridagi turli ob-havo sharoitlarining davomiyligi ma'lumotlariga asoslanadi. Shu bilan birga, yaxshi ob-havo davrlari (tojlanish yo'qotishlarini hisoblash maqsadida) nisbatan namlik 100% dan kam bo'lgan va muz qoplamasi mavjud bo'lgan davrlar sifatida hisoblanadi. Agar hisoblash davridagi ob-havo davomiyligi bo'yicha ma'lumotlar mavjud bo'lmasa, tojlanish yo'qotishlari liniya joylashgan mintaqaga bog'liq holda aniqlanadi. Tojlanish jarayonidagi quvvat yo'qotishlari juda keng diapazonda o'zgaradi, bu esa ikkinchi tartibga mos keladi va yo'qotishlarning vaqt davomida o'zgarishi ba'zan juda tez sodir bo'ladi. Tojlanish yo'qotishlarining xususiyatlarini aniqlash uchun quyosh faolligi davri (10–12 yil) davomida ob-havo parametrlarining va tojlanish yo'qotishlarining uzluksiz o'zgarishlari bo'yicha ma'lumotlarga ega bo'lish zarur, chunki meteorologik hodisalarning siklik takrorlanishi aynan ushbu quyosh faolligi davri bilan belgilanadi. Nazariy bosqichda o'tkazgich atrofidagi elektr maydon kuchlanganligining radial taqsimoti silindrik koordinatalar sistemasida Laplas tenglamasi (1-formula) asosida ifodalanadi:

$$\nabla^2 \varphi = 0 \quad (1)$$

bu yerda φ - elektr potentsiali. Elektr maydon kuchlanganligi quyidagicha (2-formula) asosida aniqlanadi:

$$E(r) = -\frac{d\varphi}{dr} = \frac{U}{r \ln \frac{D}{r_0}} \quad (2)$$

bu yerda U -faza kuchlanishi, r_0 -o'tkazgich radiusi, D -ekivalent fazalararo masofa. Tojlanish hodisasining boshlanish sharti elektr maydon kuchlanganligining kritik qiymatga tenglashishi bilan (3-formula) asosida aniqlanadi:

$$E(r_0) \geq E_{emk} \quad (3)$$

bu yerda E_{emk} -muhitning ionlanishiga mos kritik elektr maydon kuchlanganligi bo'lib, u atmosfera bosimi, namlik va sirt holatiga bog'liq funksional ko'rinishga ega. Monitoring asosida tojlanish quvvat yo'qotishlari vaqt bo'yicha integrallash orqali energiya yo'qotishlariga quyidagi (4-formula) asosida o'tkazildi:

$$W_{yo'q} = \int_0^T P_{yo'q}(t) dt \quad (4)$$

bu yerda T -kuzatuv davri (sutkalik yoki yillik interval).

Yuklama bilan bog'liq aktiv quvvat yo'qotishlari klassik ifoda (5-formula) orqali aniqlanadi:

$$P_{yo'q} = I^2 R(T) \quad (5)$$

bu yerda I -liniyadagi tok, $R(T)$ -haroratga bog'liq aktiv qarshilik. Shunday qilib, umumiy energiya yo'qotishlari quyidagi yig'indi orqali (6-formula) baholanadi:

$$W_{\Sigma} = \int_0^T (P_k(t) + P_l(t)) dt \quad (6)$$

Eksperimental va monitoring bosqichida elektr maydon intensivligi, yuqori chastotali elektromagnit komponentlar, tok va kuchlanishning vaqt bo'yicha o'zgarishi maxsus sezgir o'lchov vositalari yordamida uzluksiz qayd etildi. Olingan ma'lumotlar raqamli

filtrlash, regressiya va korrelyatsion tahlil usullari yordamida qayta ishlanib, model parametrlarining identifikatsiyasi amalga oshirildi.

Mazkur tadqiqot yuqori kuchlanishli havo elektr uzatish liniyalarida tojlanish jarayonlari va ular bilan bog'liq energiya yo'qotishlarini baholashda monitoring ma'lumotlari bilan uyg'unlashtirilgan analitik va hisoblash modellari tayangan holda olib borildi. Elektr maydon kuchlanganligining o'tkazgich atrofidagi taqsimlanishi asosida tojlanishning boshlanish shartlari aniqlanib, quvvat va energiya yo'qotishlari vaqt bo'yicha integrallash orqali baholandi. Yuklama bilan bog'liq aktiv yo'qotishlar tok va qarshilik parametrlariga asoslangan holda hisobga olindi hamda umumiy yo'qotishlar funksional bog'lanish sifatida ifodalandi. Monitoring jarayonida qayd etilgan o'lchov ma'lumotlari statistik va regressiya tahlillari yordamida qayta ishlanib, model parametrlarining aniqligi baholandi. Olingan natijalar energiya yo'qotishlarini minimallashtiruvchi optimal kuchlanish darajalarini aniqlash va yuqori kuchlanishli elektr uzatish liniyalarining samarali ekspluatatsion rejimlarini shakllantirishga xizmat qiladi.

Natijalar va muhokama

O'tkazilgan tadqiqotlar natijasida yuqori kuchlanishli havo elektr uzatish liniyalarida tojlanish hodisasi bilan bog'liq quvvat va elektr energiyasi yo'qotishlari ekspluatatsion rejimlar, kuchlanish darajalari hamda tashqi muhit omillariga sezilarli darajada bog'liq ekanligi aniqlandi. Monitoring asosida olingan ma'lumotlar elektr maydon kuchlanganligi kritik qiymatlarga yaqinlashgan sharoitlarda tojlanish yo'qotishlarining nolinear xarakterga ega ekanini ko'rsatdi. Xususan, kuchlanish darajasi oshishi bilan tojlanish quvvat yo'qotishlarining yuklama yo'qotishlariga nisbatan ulushi keskin o'rtishi kuzatildi, bu esa umumiy energiya yo'qotishlari tarkibida tojlanishning rolini kuchaytiradi. Yuqori kuchlanishli havo elektr uzatish liniyalaridagi va nimstansiyalardagi umumiy isroflari quyidagi 1-jadvalda keltirilgan.

1-jadva

Elektr energiyasi yo'qotishlarining umumiy va tarkibiy qismlari

Ortiqcha yuklanish rejimlaridagi isroflar, %	64
Tojlanish jarayonidagi isroflar, %	20
Nimstansiyada joylashgan kuch transformatorining salt ishlashdagi isroflar, %	8
Nimstansiyada joylashgan reaktor blokidagi isroflar, %	2
O'lchov transformatorlari va yuqori kuchlanishdan cheklagich qurilmalaridagi umumiy isroflar, %	3
Kondensator qurilmalaridagi umumiy isroflar, %	3

Natijalar tahlili shuni ko'rsatdiki, monitoring orqali aniqlangan joriy va integral energiya yo'qotishlari an'anaviy hisobiy baholashlarga nisbatan yuqori aniqlikka ega bo'lib, real ekspluatatsiya sharoitlaridagi tasodifiy tebranishlar va atmosferaviy omillar ta'sirini hisobga olish imkonini beradi. Yuklama yo'qotishlari bilan tojlanish yo'qotishlari o'rtasidagi nisbat kuchlanish darajasiga bog'liq holda o'zgarib, ma'lum diapazonda umumiy yo'qotishlarning minimumi shakllanishi aniqlangan. Bu holat yuqori kuchlanishli liniyalar uchun optimal ish kuchlanishini tanlashda monitoring natijalariga tayangan holda yondashish zarurligini tasdiqlaydi. Yuklama yo'qotishlarini hisoblashda operativ hisoblash usuli qo'llanilib, uning mohiyati elektr energiyasi yo'qotishlarini ifodalovchi quyidagi (7-formula) orqali hisoblanadi.

$$\Delta W = 3 \cdot \sum_{i=1}^n R_i \sum_{j=1}^m I_{ij}^2 \cdot \Delta t_{ij} \quad (7)$$

Ushbu davr doirasida tojlanish yo'qotishlarini tasodifiy jarayon deb hisoblash mumkin bo'lib, uning xususiyatlari taqsimot funksiyasi va korelyatsion funksiyasi bilan belgilanadi. Tahlil natijalari shuni ko'rsatdiki, ko'rib chiqilayotgan metodika bir necha yuz soat davom etgan tajriba uchastkalaridagi tojlanish yo'qotishlarini o'lchash natijalariga asoslangan bo'lib, bu aniq yetarli emasligi quyidagi (8-formulada) keltirildi.

Tojlanish jarayonidagi quvvat yo'qotishlarining o'rtacha yillik ko'rsatkichlari

Kuchlanish, kV	Fazadagi o'tkazgichlar soni	O'tkazgichning ko'ndalang kesim yuzasi (AP)	O'tkazgich radiusi, mm	Isroflar, Vt/m		P ₂ /P ₁ munosabatlari
				P ₁ bo'yicha	P ₂ bo'yicha	
1150	8	330/39	12	32	49,5	1,5
750	5	240/56	11,2	13	25	1,9
500	3	330/43	12,6	9	11,6	1,3
330	2	300/39	12	3,8	4	1,05
220	1	300/39	12	1,6	2	1,25

$$\Delta P_t = \Delta P_k \left(\frac{U}{U_n} \right)^5 \quad (8)$$

Muhokama natijalariga ko'ra, tojlanish yo'qotishlarini real vaqt rejimida baholash elektr energetika tizimlarining barqarorligini oshirish, reaktiv quvvatni boshqarish strategiyalarini takomillashtirish hamda energiya samaradorligini ta'minlash uchun muhim axborot manbai bo'lib xizmat qiladi. Olingan natijalar yuqori kuchlanishli elektr uzatish liniyalarini ekspluatatsiya qilishda energiya yo'qotishlarini kamaytirishga qaratilgan ilmiy asoslangan qarorlar qabul qilish imkoniyatlarini kengaytiradi. Tojlanish jarayonidagi quvvat yo'qotilishlari 2-jadvalda keltirilgan.

Tojlanish yo'qotishlari elektr energiyasini uzatish jarayonida tojlanish zaryadining paydo bo'lishi natijasida yuzaga keladigan energiya yo'qotishlari bo'lib, tojlanish zaryadi bu keskin noaniq maydonlarda yuzaga keladigan mustaqil gaz zaryadining xarakterli shakli hisoblanadi. O'zgaruvchan tokni uzatishda qovushqoqlik tizimi elektr ta'minoti tizimlarining ishonchligini oshirish va elektr energiyasini uzatish vaqtida yo'qotishlarni kamaytirish vazifalarini bajaradi. Biroq boshqa ob-havo sharoitlarida ayniqsa yomg'ir, nam qor, tuman va muzlama kabi katta energiya isroflariga olib keluvchi og'ir sharoitlarda tojlanishning boshlang'ich kuchlanishi pasayadi va natijada umumiy tojlanish hodisasi kuzatiladi. 220, 500 kV va undan yuqori nominal kuchlanishlarda tojlanishdagi energiya isroflarini kamaytirish maqsadida diametri katta, ammo kesim yuzasi kichik bo'lgan simlardan foydalanish maqsadga muvofiq bo'ladi. O'tkazgichlar tuzilishini optimallashtirishda qo'llash uchun mo'ljallangan ko'rsatkichlarni aniqlashni quyidagi (9-formula) orqali amalga oshiramiz. Ma'lum bir iqlim mintaqasi uchun har bir ob-havo guruhi davomiyligini hisobga olgan holda, liniyaning birlik uzunligiga nisbatan tojlanishdagi o'rtacha yillik quvvat yo'qotishlarini hisoblash imkonini (10-formula) yordamida bajariladi. Tojlanish natijasida yuzaga keladigan katta yo'qotishlar holatida kuchlanishni pasaytirish orqali tarmoqdagi yo'qotishlarni sezilarli darajada kamaytirish mumkin.

$$\frac{\Delta P_{ki}}{\varepsilon_0 \omega U_0^2} = A_i \left(\frac{U_f}{U_0} \right)^{N_i} \quad (9)$$

$$\Delta P_t = 27.8 \cdot 10^{-10} U_f^2 \sum_{i=1}^N A_i \cdot \left(\frac{U_f}{U_0} \right)^{N_{i-2}} \cdot \psi_i \quad (10)$$

Yuqori kuchlanishli havo elektr uzatish liniyalarida tojlanish yo'qotishlarining iqtisodiy ko'rsatkichlari 3-jadvalda ko'rsatilgan.

Loyiha qilinayotgan amaliyotda hozirgi vaqtgacha yuqori kuchlanishli elektr uzatish liniyalaridagi tojlanish natijasidagi o'rtacha quvvat yo'qotishlari kuzatilmog'da. Ko'pincha tarmoqning ma'lum ish rejimida aktiv quvvatning tojlanishdagi yo'qotishlarini hisobga olish uchun o'rtacha yillik qiymatlar qo'llaniladi, ular turli qo'llanmalar

tavsiyalariga muvofiq olindi. Lekin havo elektr uzatish liniyalarining aniq ob-havo sharoitlari, liniyaning tuzilishi va ish rejimi parametrlarini hisobga olmaydi. Meteorologiya stansiyalari tomonidan olib borilgan ob-havo monitoringi natijalarini umumlashtirish asosida olingan o'rtacha yillik ob-havo sharoitlari davomiyligi haqidagi ma'lumotlar 4-jadvalda keltirilgan.

3-jadval

220-500 kV kuchlanishli havo elektr uzatish liniyalaridagi energiya yo'qotishlarining umumiy ma'lumotlari

Kuchlanish, kV	O'tkazgich markasi	Energiya yo'qotishlarini iqtisodiy qiymati, kVt s/km		
		Yoz fasli uchun	Qish fasli uchun	Umumiy yil uchun
220	APB-300	7312	10223	17535
330	2xAPB-240	9443	12989	22341
500	3xAPB-400	6963	8600	15563
750	4xAPB-500	20623	27292	47915

4-jadval

O'rtacha yillik ob-havo sharoitlarining davomiyligi ko'rsatkichlari

Shahar	Yaxshi ob-havoda	Namlik yuqori havoda	Quruq qor havoda	Tuman havoda	Yomg'irli havoda	Muzli havoda
Navoiy	5030	715	381	497	401	1717
Zarafshon	4980	695	295	380	395	1690

Yog'ingarchilik intensivligi 1 mm/soat bo'lgan holatda 500 kV kuchlanishli havo elektr uzatish liniyasi (4-jadvalga asosan) o'tuvchi hududda yomg'ir davomiyligi yiliga 401 soatni tashkil etadi. Intellekual elektr tarmoqlarini yaratish ularning holatini to'liq va maqsadga yo'naltirilgan monitoringisiz bajarish imkonini mavjud emas. Elektr energetika tarmoqlarini boshqarishning asosiy maqsadi-energiyani tejash va elektr ta'minotining ishonchligini ta'minlashdan iborat. Energiya tejash masalasini hal etishning samarali yo'llaridan biri elektr energetika tizimlarining ish rejimlarini kuchlanish va reaktiv quvvat koeffitsientlari bo'yicha optimallashtirishdir. Shu sababli, energiya tizimi tugunlaridagi optimal kuchlanish darajasi tojlanish yo'qotishlari bilan yuklama yo'qotishlarining o'zaro nisbatiga bog'liq bo'ladi. Yaxshi ob-havo sharoitida yuklama yo'qotishlari tojlanish yo'qotishlariga nisbatan ustun bo'lsa, yomon ob-havo (qor, yomg'ir, muzlamalar)da tojlanish yo'qotishlari 1-2 martaga ortishi mumkin. Yuqorida ko'rib chiqilayotgan liniya uchun yaxshi ob-havo sharoitidagi tojlanish yo'qotishlari 1200 kVt ni tashkil etadi. Tojlanish yo'qotishlarini aniqlashdagi elektr jihozlaridagi xatolikning maksimal qiymati 229 kVt bo'lib, bu yaxshi ob-havoda tojlanish natijasidagi quvvat yo'qotish qiymatining 19 % ni tashkil etadi. Yaxshi ob-havo sharoitida tojlanish yo'qotishlari hisobiy o'lchangan kuchlanish qiymati va hisoblangan sig'im miqdori asosida aniqlanadi. Ushbu parametrlarni aniqlashdagi

xatoliklar ancha katta ekanligini hamda yaxshi ob-havoda tojlanish yo'qotishlarining qiymati eng yuqori mumkin bo'lgan qiymatdan ikki daraja kichikligini inobatga olgan holda, tojlanish yo'qotishlarini hisoblashdagi 19 % xatolik miqdori to'laqonli qabul qilinsa maqsadga muvofiq degan xulosaga kelish mumkin. Yuqori kuchlanishli elektr uzatish liniyalaridagi umumiy quvvat yo'qotishlarini kamaytirish maqsadida kuchlanish o'zgarishining mumkin bo'lgan diapazonini aniqlash uchun har bir liniyada tojlanish yo'qotishlari va o'tkazgichlardagi yo'qotishlar nisbati turlicha bo'lgan holatlarda yo'qotishlarni tahlil qilish mumkin. 750 va 500 kV kuchlanishli elektr uzatish liniyalari uchun tojlanish va o'tkazgichlardagi yo'qotishlar bog'liqliklari keltirilgan. Bu yerda tojlanish yo'qotishlari kuchlanishning beshinchi darajasiga proporsional, yuklama yo'qotishlari esa kuchlanishning kvadratiga teskari proporsional ekanligini hisobga olamiz. Shunday qilib, umumiy yo'qotishlarning kuchlanishga bog'liqligi (11-formula) orqali aniqlanadi.

$$P_{\Sigma}(U) = P_t \cdot \left(\frac{U}{U_{o'r}}\right)^5 + P_{o'r} \cdot \left(\frac{U_{o'r}}{U}\right)^2 \quad (11)$$

Yuklamali rejimlardagi liniya oxirdagi kuchlanish bilan bog'liq tojlanish isroflarini (12-formula) yordamida aniqlaymiz.

$$P_{\Sigma}(U_{2opt}) = P_{o'r2} \cdot \left(\frac{U_{2opt}}{U_2}\right)^5 + P_{2opt} \cdot \left(\frac{U_2}{U_{2opt}}\right)^2 \quad (12)$$

Baholash yakunlangandan so'ng, nafaqat liniyadagi yo'qotish qiymatlari, balki tarmoqlarni chegaralovchi tugunlarda baholangan kuchlanish qiymatlari ham saqlanadi. Shuningdek, optimallashtirish jarayonida yo'qotish qiymati kuchlanish o'zgarishiga qarab quyidagi formula orqali o'zgarishini (13-formula) orqali aniqlanadi.

$$P_{ij,joriy} = 0.5 \cdot P_{ij,o'chov} \cdot \left(\frac{U_{ij}}{U_{i,bah}}\right)^5 + 0.5 \cdot P_{ij,o'ch} \cdot \left(\frac{U_{j,jor}}{U_{j,bah}}\right)^5 \quad (13)$$

Yuqorida alohida elektr uzatish liniyalari ish rejimi ko'rib chiqilgan edi. Energiya tizimini umumiy holda tahlil qilishda mazkur hududning barcha liniyalaridagi yo'qotishlarni hisobga olish zarur. Shu bois, energiya tizimi tugunlarida optimal kuchlanish darajalarini hisoblashda ko'rib chiqilayotgan energiya hududining barcha uzatish liniyalari bo'yicha tojlanish yo'qotishlari va yuklanish yo'qotishlari hisobga olinishi lozim. Liniyalarda tojlanish yo'qotishlari minimal bo'lgan holatda, ya'ni hududda yaxshi ob-havo kuzatilsa, tarmoqda kuchlanishni oshirish maqsadga muvofiq bo'lib, bu tarmoqda quvvat yo'qotishlarini sezilarli darajada 7,5 MVt ga, ya'ni umumiy yo'qotishlarning 5,1 % ga kamaytirish samarasini beradi. Shuningdek, agar shuntli reaktor o'rni boshqariluvchi shuntli reaktor o'rnatilganida, rejimni optimallashtirish samarasi yana 6,5 % ga oshib, 8 MVt qiymatiga yetar edi. Kuchlanishni tartibga solish orqali liniyada rejimni optimallashtirish hisob-kitoblari, kuchlanish chegaralari hisobga olinmagan holda, quyidagilarni ko'rsatdi: Agar liniya yaxshi ob-havo sharoitida bo'lsa, tojlanishdagi yo'qotishlar eng kam bo'lib, liniyaning optimal kuchlanishi ekspluatatsiya kuchlanishidan ancha yuqori, ya'ni 1,2-1,25 marta ko'p bo'ladi. Agar liniya yomon ob-havo sharoitida bo'lsa, tojlanishdagi yo'qotishlar katta bo'ladi va liniyaning optimal kuchlanishi ekspluatatsiya kuchlanishidan ancha past, ya'ni 0,5-0,85 martaga teng bo'ladi. 5-jadvalda elektr uzatish liniyalarida yo'qotishlarni minimallashtiruvchi optimal kuchlanish qiymatini hisoblash natijalari keltirilgan.

Tarmoqda kuchlanishni tartibga solish elektr stansiyalari va reaktiv

quvvat manbalari kuchlanishini o'zgartirish orqali amalga oshiriladi, ularning o'zgarish diapazoni 6-jadvalda ko'rsatilgan.

5-jadval

Ta'minlovchi liniyadagi isroflarni kamaytirish vaqtidagi optimal kuchlanishni hisoblash ko'rsatkichlari

Tojlanish jarayonidagi davomiy ortib boradigan isrof, soat	2,33
Liniya oxirida kuchlanishning o'rtacha qiymati, kV	750,04
Liniya oxirida aktiv quvvatning o'rtacha qiymati, MVt	656,03
Liniya oxirida reaktiv quvvatning o'rtacha qiymati, MVar	147,09
Tojlanishdagi o'rtacha aktiv quvvati, MVt	14,65
Yuklama yo'qotishlaridagi o'rtacha isrof, MVt	10,49
Liniyadagi aktiv quvvat isrofining umumiy yig'indisi, MVt	25,14
Liniya oxirida optimal kuchlanishning o'rtacha qiymati, kV	627,45
Liniyadagi kuchlanish isrofining umumiy yig'indisi, kV	21,60
Liniyadagi umumiy quvvatning pasayishi, MVt	3,54

6-jadval

Reaktiv quvvat manbalarining kuchlanishni tartibga solish bo'yicha keltirilgan ma'lumotlari

№	Taqsimlash tarmoq tuguni	Q _{min} (Var)	Q _{max} (Var)	
1	5202 MVar	1-blok tizimi	-880,6	1111,9
2	5253 MVar	2-blok tizimi	-290	800
3	5254 MVar	3-blok tizimi	-340	800
4	5256 MVar	4-blok tizimi	-340	800
5	5630 MVar	5-blok tizimi	-924	768
6	9284 MVar	6-blok tizimi	-9986	9986

Natijalar shuni ko'rsatadiki, barcha nimstansiyalarda kuchlanish qiymatlari yaxshilandi. Elektr energiyasini ishlab chiqarish nuqtasidan, yuklama markazlaridan uzoqda, talabning o'zgarishi, ob-havo sharoiti, taqsimlash transformatorlari fazalariga muvozanatsiz yuklama bilan birgalikda foydalanish nuqtasiga uzatish uchun energiya tizimining murakkabligi iste'molchilar tomonidan va elektron uskunalaridan foydalanish kabi omillar, yetkazib beriladigan elektr energiyasining sifatini pasaytirishga olib keladi. Shuntli reaktor bilan boshqariladigan nimstansiyalarda kuchlanishni rostlash imkonini hisoblash holati 7-jadvalda keltirildi.

7-jadval

Shuntli reaktor bilan boshqarilishda reaktorning holati

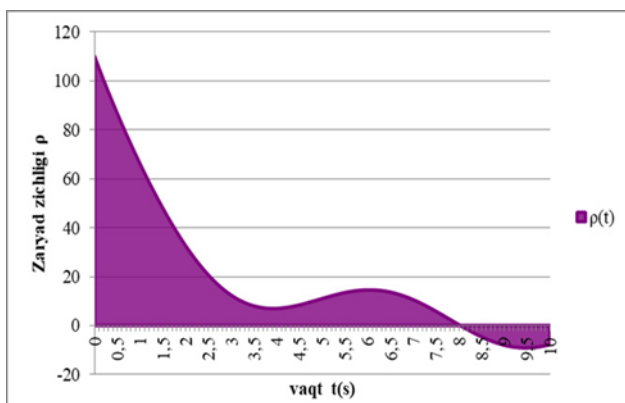
№	Taqsimlash tuguni		Reaktor (MVar)	Berilgan rejimlardagi holatlari
1	5015 MVar	1-blok tizimi	180	Holati yoniq
2	5015 MVar	2-blok tizimi	180	Holati o'chiq
3	5250 MVar	3-blok tizimi	180	Holati yoniq
4	5425 MVar	4-blok tizimi	180	Holati yoniq

Ma'lumotlariga ko'ra, O'zbekistonda oxirgi 10 yil davomida quruq muz davrining o'rtacha davomiyligi yiliga 1381 soatni tashkil etadi. Shu bilan, agar biz ko'rib chiqilayotgan tarmoqlar ish rejimlarini quruq davrda optimallashtirganida, yillik elektr energiyasi yo'qotishlarini tejash miqdori quyidagi darajada bo'lishi mumkin edi.

500/220 kV tarmoq uchun: 1381 soat × 53,6 MVt = 74 021,6 MVt·soat

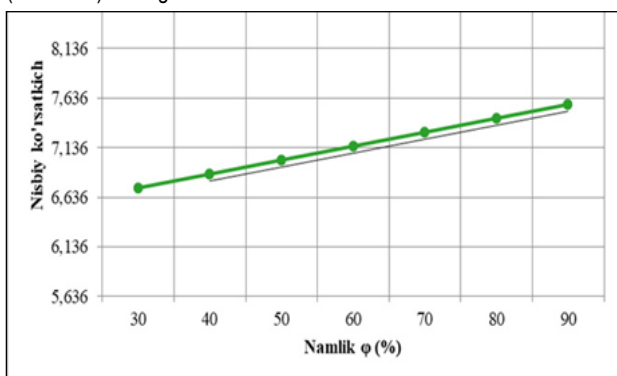
110 kV tarmoq uchun: 1381 soat × 20,2 MVt = 27 896,2 MVt·soat

Yuqori kuchlanishli elektr uzatish liniyalarida tojlanish jarayonlarini modellashtirish va monitoring asosida baholashda muhim diagnostik axborot manbai bo'lib u quyidagicha 1-rasm asosida shakllandi.



1-rasm. Rekombinatsiya va muvozanat bosqichi

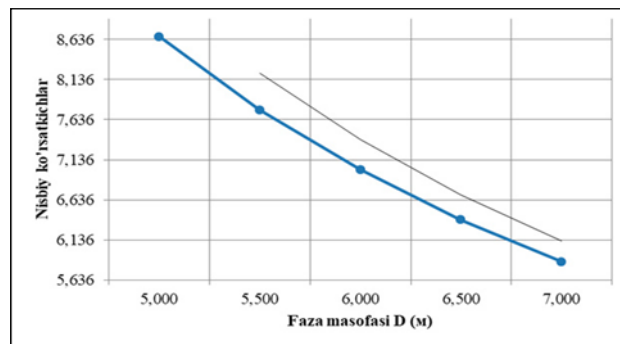
Bunda vaqt bo'yicha zaryad zichligi $p(t)$ ning o'zgarish qonuniyati tasvirlangan. Grafikdan ko'rinadiki, boshlang'ich vaqt momentida zaryad zichligi yuqori qiymatga ega bo'lib, vaqt o'tishi bilan eksponensial xarakterga yaqin tarzda keskin kamayadi. Bu holat muhitda zaryad tashuvchilarning rekombinatsiyasi, ionlarning neytrallanishi hamda elektr maydon ta'sirida zaryadlarning tarqalishi jarayonlari bilan izohlanadi. Vaqtning keyingi oralig'ida $p(t)$ qiymatlarida mahalliy maksimum kuzatilishi zaryadlarning ikkilamchi ionlanish yoki qayta taqsimlanish jarayonlari bilan bog'liq bo'lishi mumkin. So'ngra zaryad zichligi nolga yaqinlashib, manfiy qiymatlar sohasiga o'tishi kuzatiladi, bu esa qarama-qarshi ishorali zaryadlarning ustunlashuvi yoki kompensatsiyalovchi jarayonlarning kuchayganligini ko'rsatadi. Ushbu dinamik xarakteristika tojlanish hodisasi sharoitida zaryadlarning vaqt bo'yicha notekis taqsimlanishini va nolinear elektromagnit jarayonlar mavjudligini tasdiqlaydi. Nam havoda havo zichligi kamayib, havo ionizatsiyasining chegarasi pasayadi. Shu sababli, namlikning yuqori bo'lishi tojlanishni yengillashtiradi. Bunday holat ayniqsa yomg'irli kunlarda yoki shudring tushgan vaqtlarda aniq seziladi. Nam havo tozalanmagan izolyatorlarda ozon va azot oksidlarining paydo bo'lishi bilan birga energiya yo'qotishlarni oshirishi (2-rasmda) keltirilgan



2-rasm. Nisbiy ko'rsatkichlar va namlikning tojlanish hodisasiga bog'liqligi

Bunda muhit namligi φ (%) o'zgarishiga bog'liq holda nisbiy ko'rsatkichning o'zgarish tendensiyasi ifodalangan. Grafikdan ko'rinib turibdiki, namlik 30 % dan 90 % gacha oshgan sari nisbiy ko'rsatkich deyarli chiziqli qonuniyat asosida ortib boradi. Xususan, $\varphi \approx 30\%$ da nisbiy ko'rsatkich taxminan 6,65 atrofida bo'lsa, namlik 50–60 % oralig'ida bu qiymat 7,05–7,15 gacha yetadi. Namlikning yanada ortishi ($\varphi \approx 70\text{--}80\%$) sharoitida nisbiy ko'rsatkich 7,25–7,40 qiymatlar oralig'ida kuzatiladi. Maksimal namlikka yaqin holatda, ya'ni $\varphi \approx 90\%$ da esa nisbiy ko'rsatkich taxminan 7,5–7,6 qiymatga yetishi qayd

etilgan. Elektr maydonining intensivligi (E) fazalar orasidagi masofa (D), o'tkazgich diametri (d) va havo zichligi koeffitsiyenti (δ) bilan belgilanadi. Bu omillar o'rtasidagi muvozanat buzilganda, ya'ni maydon kuchlanishi havo izolyatsiyasining kritik qiymatidan oshganda, tojlanish hodisasi vujudga kelgan fazalar orasidagi masofa qanchalik kichik bo'lsa, elektr maydonining o'zaro ta'siri shunchalik kuchli bo'ladi (3-rasm).



3-rasm. Faza masofasi bo'yicha nisbiy maydon ko'rsatkichining tojlanish hodisasiga bog'liqligi.

Bunda gorizontal o'q bo'yicha faza masofasi D (m) qiymatlarining 5000 m dan 7000 m gacha o'zgarishi, vertikal o'q bo'yicha esa nisbiy maydon ko'rsatkichining qiymatlari aks ettirilgan. Grafik tahlili faza masofasi ortib borishi bilan nisbiy maydon ko'rsatkichida barqaror pasayish tendensiyasi mavjud ekanini ko'rsatadi. Son qiymatlariga muvofiq, $D \approx 5000$ m da nisbiy maydon ko'rsatkichi taxminan 8,5–8,6 atrofida bo'lib, faza masofasi 5500 m ga yetganda ushbu qiymat 7,6–7,7 darajasigacha kamayadi. $D \approx 6000$ m sharoitida nisbiy ko'rsatkich 7,0–7,1 qiymatlar oralig'ida joylashadi. Faza masofasi yanada oshirilib, 6500 m da mazkur ko'rsatkich 6,4–6,5 ga tushadi va $D \approx 7000$ m da esa 5,8–5,9 qiymatga yaqinlashishi kuzatiladi. Vertikal o'q bo'yicha ko'rsatkichning kamayishi faza o'tkazgichlari o'rtasidagi masofa ortishi natijasida elektr maydoni kuchlanishining zaiflashishi va maydon chiziqlarining keng fazoda tarqalishi bilan izohlanadi. Gorizontal o'q bo'yicha faza masofasining o'sishi o'zaro elektromagnit ta'sirning pasayishiga olib kelib, maydon konsentratsiyasini kamaytiradi. Shu tariqa, grafik ma'lumotlari faza masofasini oshirish nisbiy maydon ko'rsatkichini samarali ravishda pasaytirishini texnik-ilmiy jihatdan asoslab beradi va yuqori kuchlanishli elektr uzatish liniyalarini loyihalashda mazkur parametrlarning muhimligini ko'rsatishi 8-jadvalda keltirilgan.

8-jadvalda faqat sezilarli bo'lgan tojlanish natijasidagi birligiga nisbatan quvvat yo'qotishlarining o'zgarish diapazonlari keltirilgan. Masalan, AP-240 markali o'tkazgich uchun, o'tkazgichning katta radiusi sababli tojlanish yo'qotishlari qiymatini hisobga olish shart emas. Shuningdek, ushbu ustunlar va o'tkazgichlar kombinatsiyasi tojlanish natijasidagi aktiv quvvat yo'qotishlariga olib keladi. Havo liniyalarining geometrik parametrlari bilan bir qatorda, tojlanish natijasidagi aktiv quvvat yo'qotishlariga ta'sir qiluvchi asosiy omillar-ob-havo sharoitlarining davomiyligi va turi hisoblanadi (4-rasm).

Bunda yuqori kuchlanishli havo elektr uzatish liniyalarida tojlanish hodisasi natijasida yuzaga keladigan quvvat yo'qotishlarining kuchlanish darajasiga va ob-havo sharoitlariga bog'liqligi tasvirlangan. Grafikdan ko'rinadiki, kuchlanishning 120 kV dan 340 kV gacha oshishi bilan tojlanish yo'qotishlari nolinear xarakterda ortib boradi. Ayniqsa, kuchlanish ma'lum kritik qiymatlardan oshgach, tojlanish intensivligining keskin kuchayishi natijasida yo'qotishlar tez sur'atlarda oshishi kuzatiladi. Yuqori kuchlanishli elektr uzatish liniyalarida fazalar oralig'i o'zgarishining elektr maydon intensivligiga ta'siri turli fazalar joylashuv sxemalari uchun taqqoslab ko'rsatilishi (5-rasmda) keltirilgan.

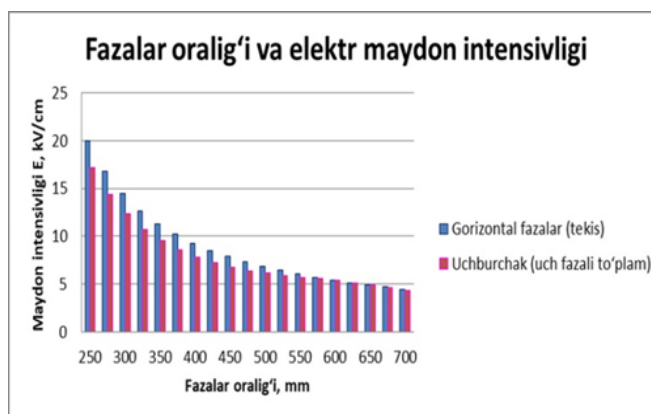
8-jadval

O'tkazgich markalari bo'yicha tojlanish jarayonidagi yuqotishlar

Havo liniyalarida tojlanish natijasida yuzaga keladigan aktiv quvvat yo'qotishlari: kuchlanish sinfi va o'tkazgich turi bo'yicha (kVt/km)					
Nominal kuchlanish sinfi, kV	O'tkazgich markasi	Yaxshi ob-havo, kVt/km	Quruq qorli, kVt/km	Yomg'irli, kVt/km	O'ta sovuq, kVt/km
110	AP-70	0.022–0.080	0.088–0.393	0.311–1.345	1.250–4.487
110	AP-95	0.022–0.057	0.094–0.243	0.270–0.915	1.160–3.388
110	AP-120	0.027–0.047	0.117–0.183	0.329–0.675	1.422–2.652
110	AP-150	0.038	0.157	0.474–0.476	2.010–2.015
220	AP-185	0.18–0.32	0.75–1.35	2.10–3.60	9.0–13.5
220	AP-210	0.16–0.28	0.65–1.20	1.90–3.20	8.0–12.5
220	AP-240	0.14–0.25	0.55–1.05	1.70–2.90	7.0–11.0
220	AP-300	0.12–0.22	0.48–0.95	1.50–2.60	6.2–10.0
500	AP-400	2.6–3.3	9.5–12.5	30–40	78–95
500	AP-500	2.2–2.9	8.3–11.0	27–36	70–88
500	AP-600	1.9–2.5	7.5–10.0	24–32	62–80



4-rasm. Kuchlanish darajasi va ob-havo sharoitlariga bog'liq holda yuqori kuchlanishli havo elektr uzatish liniyalarida tojlanish yo'qotishlarining o'zgarishi



5-rasm. Fazalar oralig'i va fazalar joylashuviga bog'liq holda elektr maydon intensivligining o'zgarishi

Grafikdan ko'rinadiki, fazalar oralig'ining 250 mm dan 700 mm gacha oshishi bilan elektr maydon intensivligi E qiymatlari monoton ravishda kamayib boradi. Bu holat fazalar orasidagi elektr maydonning o'zaro ta'siri susayishi va maydon chiziqlarining kengroq fazoviy hududga taqsimlanishi bilan izohlanadi.

Xulosalar. O'lchash natijalari real vaqt rejimida elektr energiyasi yo'qotishlarini tarkibiy qismlarini (yuklanish yo'qotishlari, tojlanishdagi yo'qotishlar va quvvatlarning yo'qotishlari) aniqlash imkoniyatini ko'rsatadi. Bu esa yo'qotishlarni kamaytirish maqsadida yuqori kuchlanishli havo liniyalari ish rejimida optimallashtirishni amalga oshirish va elektr energiyasini sezilarli darajada tejash imkonini beradi. Shuningdek, energiya tizimida kuchlanish darajalari bo'yicha rejimni optimallashtirish, joriy tojlanish quvvati yo'qotishlari hisobga olinmasdan amalga oshirilishi mumkin emasligi isbotlangan. Yuqori kuchlanishli havo elektr uzatish liniyalarida tojlanish hodisasi- elektr maydoni konfiguratsiyasi, muhitning elektr-fizik xususiyatlari, atmosfera omillari va o'tkazgich-izolyatsiya yuzasining geometrik

parametrlari o'zaro ta'sirida shakllanadigan murakkab elektrofizik jarayon ekanligi aniqlandi. Tadqiqot natijalari ko'rsatadiki, tojlanishning intensivligi va energetik oqibatlar mahalliy iqlim sharoitlari, ayniqsa cho'l hududlarida, klassik modellarda qabul qilingan tavsiflardan tubdan farq qilishi, cho'l muhitining aerosol zichligi, past namlik, yuqori harorat va past atmosfera bosimi havoning ionlanish jarayonini pasaytirishi, natijada tojlanishning boshlanish kuchlanishi (U_0) 5–12 % ga kamayishi keltirildi. Shu bilan birga, fazalarni kengaytirish, izolyatsiya yuzasini tozalash va konstruktiv elementlarni optimallashtirish kabi tadbirlar ham yuqori samara ko'rsatishi aniqlandi. Tajriba ma'lumotlari va modellash natijalari shuni ko'rsatadiki, meteoparametrlarni (namlik, bosim, shamol, ifloslanish) dinamik hisobga olmagan real-taym algoritmlarda tojlanish yo'qotishlarining bahosi yetarlicha aniq bo'lmaydi. Shuning uchun elektr uzatish liniyalari uchun meteoadaptiv hisob modellarini joriy etish, ya'ni har bir klimatik holat uchun U_0 , E_{max} va P_k qiymatlarini qayta hisoblab, avtomatlashtirilgan tarzda optimal ekspluatatsiya

strategiyalarini ishlab chiqish energetika tizimining barqaror ishlashida muhim ahamiyat kasb etadi. Tadqiqotlar natijasida quyidagilarni keltiramiz:

-to'planish jarayonidagi joriy yo'qotishlarni hisoblash algoritmi, uni uzoqlikli integrallashtirilgan hisoblash dasturiy kompleksida qo'llaganda, havo namligi yuqori bo'lganda to'planish yo'qotishlariga sezgir emas. Shu bois, uzoqlikli integrallashtirilgan hisoblash dasturiy kompleksi algoritmiga yuqorida ko'rsatilgan yo'qotishlarni hisobga olish imkonini beruvchi tuzatishlar kiritish taklif qilindi.

-uzoqlikli integrallashtirilgan hisoblash dasturiy kompleksi algoritmlari orqali to'planish yo'qotishlarini aniqlashdagi xatoliklarni tahlil qilish, uzun elektr uzatish liniyalaridagi o'tkazgichlarida yuklanish yo'qotishlarini hisoblashda havo liniyalarining to'lqin xususiyatlarini inobatga olgan aniqroq formulani qo'llash maqsadga muvofiqligini ko'rsatdi.

-yaxshi ob-havo sharoitida 250 kmdan uzun elektr uzatish liniyalarida kuchlanish o'zgarishlarining to'planishdagi quvvat yo'qotishlariga ta'sirini hisobga olish maqsadida, uzoqlikli integrallashtirilgan hisoblash dasturiy kompleksi algoritmiga aktiv va reaktiv quvvatga bog'liq tuzatish koeffitsiyenti kiritildi.

-500 kV yuqori kuchlanishli havo elektr uzatish liniyalari uchun yuklanishdan kelib chiqadigan yo'qotishlarni aniqlashdagi elektr jihozlaridagi xatolikni hisoblash natijalari shuni ko'rsatdiki, yuklanish yo'qotishlarini hisoblashda eng katta xatolikni o'tkazgichning haroratini aniqlashdagi xatolik tashkil qiladi. Ushbu xatolikning umumiy yuklanish yo'qotishlariga nisbati 4 % ni tashkil etadi.

-Hisoblash natijalari shuni ko'rsatdiki, 500 kV kuchlanishi nimstansiya tarmog'ida shuntlovchi reaktorlarni boshqariluvchi shuntlovchi reaktorlarga almashtirish orqali rejimni optimallashtirish samarasi o'rtaacha 10 % ga oshishi mumkin.

Bibliografik ro'yxat:

- Ibodullayev M.I., **Tovboyev A.N.**, Yesenbekov A.K., Nazarov A.I. Avtoparametrik tebranishlarni tahlil qilishda chastota-energiya munosabatlari // «O'zbekiston Konchilik xabarnomasi» ilmiy-texnik va ishlab chiqarish jurnali. – Navoiy, 2017. № 2. 165-167 betlar.
1. **Tovboyev A.N.**, Norqulov A.O., Tog'ayev I.B. The equation of motion of subharmonic fluctuations in three-phase chains with three-phase ferromagnetic elements. International Journal of Advanced Studies in science, technology and technology. -India, copyright to the IJARSET volume 6. № 10. October 2019. 11207-11210 pt.
 2. **Tovboyev A.N.**, Tog'ayev I.B., Nodirov G'Y. Statistical analysis of power waste in 6-10 kV tension overhead electrical transmission lines // International Journal of Advanced Research in Science Engineering and Technology. -India, volume 9. № 11. November 2022. 2-7 pt.
 3. Савина Н.В., Мясоэдов Ю.В. Систематические исследования потер электроэнергии при работе распределительных электрических сетей // Вестник ИРГТУ. -Москва, 2012. № 1. 142-148 стр.
 4. Mavlonov J.A., Mardonov D.Sh. "Rudani yanchuvchi tegirmonlarni elektr energiya samaradorligini oshirish usullari" // «O'zbekiston Konchilik xabarnomasi» ilmiy-texnik va ishlab chiqarish jurnali.– Navoiy, 2022. № 3.102-104 betlar.
 5. **Tovboyev A.N.**, Baynazarov G.G., Jumayev Z.I. Analysis of third-order subharmonic oscillations in three-phase chains with a divided ferromagnetic element. International Journal of Advanced Studies in science, technology and technology.- India, copyright to the IJARSET volume 6. № 12. December 2019. 12229-12233 pt.
 6. **Tovboyev A.N.**, Ibadullayev M.I., Murodov H.Sh., Narzullayev B.Sh. Yuqori kuchlanishli elektr tarmoq va tizimlarida subgarmonk ferorezonans. «O'zbekiston konchilik xabarnomasi» ilmiy-texnik va ishlab chiqarish jurnali. – Navoi, 2020. №4. 110-113 betlar
 7. **Tog'ayev I.B.**, Tursunova A.A., Eshmirzayev M.A. Monitoring of overhead power lines// Problems and scientific solutions.- Australia, volume 6. № 2. October 2022. 267-271 pt.
 8. **Tog'ayev I.B.**, Isoqulov D.SH., Turniyozov Z.A. Monitoring of air power lines with an assessment of their condition // Central Asian Research Journal For Interdisciplinary Studies (CARJIS).- India, volume 2. № 5. May 2022. 2181-2454 pt