PAST KUCHLANISHLI HEUL MASOFADAN MONITORING TIZIMINING SIMSIZ SENSOR TARMOQLARINI TASHKIL ETISH TAMOYILLARI VA ISHONCHLILIGINI BAHOLASH MODELLARI

Davronbekov Dilmurod Abdujalilovich[1], Xayrullayev Alisher Fayzulla o'g'li[2]

[1]Muhammmad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universiteti, t.f.d., professor.
[2]Muhammmad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universiteti tayanch doktoranti.

KALIT SO'ZLAR

simsiz tarmoq, sensorlar, masofaviy monitoring, ishonchlilik, elektr uzatish liniyasi, past kuchlanish, real vaqt, mikrokontroller

ANNOTATSIYA

Past kuchlanishli havo elektr uzatish liniyalari (HEUL) elektr energiyasini turar-joy, savdo va sanoat hududlariga taqsimlashda hal qiluvchi rol o'ynaydi. Ushbu elektr uzatish liniyalarining ishlashi va holatini kuzatish ishonchli elektr ta'minotini ta'minlash, mumkin bo'lgan nosozliklar yoki xavflarni aniqlash va umumiy tizim samaradorligini oshirish uchun juda muhimdir. Ayniqsa, past kuchlanishli havo uzatish liniyalarining uzoq masofalarga taqsimlanishi va qishloq va aholi zich joylashgan shaharlarda tarmoqlanishi hisobga olinsa, texnik nosozliklar va ruxsat etilmagan liniya ulanishlarining ko'payishi energiya yo'qotilishi va tarmoq sifatining yomonlashishiga asosiy omil bo'lmoqda. Ushbu maqolada past kuchlanishli havo liniyalarining holatini real vaqt rejimida masofadan kuzatish uchun simsiz sensorli tarmoqlardan foydalanishning afzalliklari, komponentlari va mulohazalari tahlil qilinadi. Tarmoq holati haqida ma'lumot beruvchi sensorlar va qurilmalarning qiyosiy tuzilmasi ishlab chiqilgan. Tarmoqda masofaviy monitoring tizimida foydalaniladigan simsiz sensorlarning ehtimollik va ishonchlilik modellari taklif qilingan. Taklif etilayotgan tizim yordamida past kuchlanishli havo liniyalarida Smart grid konsepsiyasining fundamental ilovalarini yaratish mumkin.

I.Kirish

Energiya tejamkorligi va iqtisodiyotning energiya sarfini kamaytirish sohasida davlat siyosatini yuritish, iqtisodiyot tarmoqlari va maishiy sektorda resurs va energiya tejovchi ilg'or texnologiyalarni joriy etishni rag'batlantirish, muqobil energiya manbalarini keng rivojlantirish jadallik bilan tadbiq etilmoqda. Energiya turlari orasida elektr tarmoqlari va tizimlarini loyihalash hamda ularning iqtisodiy samaradorligini, ishonchliligini, shuningdek, elektr energiyaning sifatini oshirish usullarini o'rganish kelgusida istiqbolli loyihalar uchun asos deb hisoblanmoqda. Ayniqsa, past kuchlanishli havo elektr uzatish liniyalarida yuzaga keladigan muammolar elektr tarmoqlaridagi energiya sarfi va iqtisodiy yo'qotishlarning oshishiga asosiy sabab bo'lmoqda. Ushbu masalalarni ijobiy hal etishda past kuchlanishli havo elektr uzatish liniyalari holatini monitoring qilish muhim ahamiyat kasb etadi [1].

Past kuchlanishli HEUL ni monitoring qilishda bir qator muammolar yuzaga kelishi mumkin:

Cheklangan foydalanish imkoniyati. Past kuchlanishli havo elektr uzatish liniyalari ko'pincha kirish qiyin bo'lgan joylarda, masalan, zich joylashgan shaharlar, chekka qishloq joylari yoki geografik joylashuv relyefi murakkab bo'lgan hududlarda joylashgan. Ushbu cheklangan foydalanish imkoniyati monitoring va texnik xizmat ko'rsatish uchun elektr uzatish liniyalariga fizik kirishni qiyinlashtiradi.

Ma'lumot to'plash. Past kuchlanishli havo liniyalaridan real vaqt rejimida ma'lumotlarni to'plash ularning taqsimlangan tabiati va keng qamrov zonasi tufayli qiyin bo'lishi mumkin. Har bir alohida liniyada sensorlar va ma'lumotlarni yig'ish uskunalarini o'rnatish qimmat va vaqt talab qilishi mumkin, bu esa butun tarmoqni yetarli darajada qoplash uchun ko'p sonli sensorlarni talab qiladi.

© *D.A. Davronbekov, A.F. Xayrullayev*

Atrof-muhit omillari. Past kuchlanishli havo elektr uzatish liniyalari monitoring tizimlariga ta'sir qilishi mumkin bo‘lgan turli xil ekologik omillarga duchor bo‘ladi. Haroratning o‘zgarishi, namlik, yog‘ingarchilik va atrof-muhitni ifloslantiruvchi moddalar kabi omillar monitoring uskunasining ishlashi va aniqligiga ta'sir qilishi mumkin, bu esa ma'lumotlarni yig‘ishda mumkin bo‘lgan noaniqliklarga olib keladi [2, 3].

Elektr ta'minoti. Past kuchlanishli havo liniyalari bo'ylab monitoring qurilmalari uchun ishonchli va uzluksiz quvvat manbaini ta'minlash qiyin bo'lishi mumkin. Kuzatuv sensorlari va aloqa uskunalarini quvvatlantirish uzluksiz ishlashini ta'minlash uchun batareyalar yoki quyosh panellari kabi quvvat manbalarini diqqat bilan ko'rib chiqishni talab qiladi.

Signal shovqini. Past kuchlanishli havo liniyalari yaqin atrofdagi elektr jihozlari, radiochastota signallari yoki boshqa simsiz qurilmalardan elektromagnit shovqinga duchor bo'lishi mumkin. Ushbu shovqin monitoring tizimlarining ishlashi va ishonchliligiga ta'sir qilishi mumkin, bu esa ma'lumotlarning noto‘g‘riligiga yoki aloqa muammolariga olib kelishi mumkin.

Masshtablilik. Past kuchlanishli havo liniyalari tarmoqlari keng bo‘lishi mumkin, ular katta maydonni qamrab olgan ko‘plab tarqatish liniyalaridan iborat. Tarmoq bo‘ylab bir nechta sensorlardan hosil bo‘ladigan ma'lumotlar hajmini boshqarish uchun monitoring tizimining miqyoslanishini ta'minlash, ishonchli ma'lumotlarni boshqarish va tahlil qilish imkoniyatlarini talab qiladigan qiyinchilik tug‘dirishi mumkin.

Ma'lumotlarni boshqarish va tahlil qilish. Past kuchlanishli havo liniyalaridan to‘plangan katta hajmdagi ma'lumotlarni qayta ishlash va tahlil qilish juda qiyin bo‘lishi mumkin. Ma'lumotlarni real vaqt rejimida qayta ishlash, saqlash va tahlil qilish uchun samarali boshqarish tizimlari va algoritmlarini joriy qilish va asoslangan qarorlar qabul qilish uchun juda muhimdir.

Kiberxavfsizlik. Monitoring tizimlari o‘zaro bog‘langanligi va ma'lumotlar tarmoqlar orqali uzatilishi bilan monitoring infratuzilmasining kiberxavfsizligini ta'minlash muhim ahamiyat kasb etadi. Ma'lumotlarning yaxlitligini, maxfiyligini himoya qilish, monitoring tizimi va elektr tarmog‘iga ruxsatsiz kirishning oldini olish muhim masalalardan biridir [4].

Ushbu muammolarni hal qilish simsiz sensorlar, mustahkam aloqa tarmoqlari, ma'lumotlar tahlili va kiberxavfsizlik choralari kabi ilg‘or texnologiyalardan tashkil topgan masofaviy monitoring tizimidan foydalanishni talab qiladi. Bundan tashqari, past kuchlanishli havo liniyalarini monitoring qilishning ishonchliligi va samaradorligini ta'minlash uchun simsiz sensorlarning tarmoqdagi ishonchlilik modellarini ishlab chiqish dolzarb masalalardan hisoblanadi.

Ushbu maqolada past kuchlanishli havo elektr uzatish liniyalari holatini masofadan monitoring qilishda simsiz sensorlardan foydalanish tamoyillari haqida batafsil ma'lumot berilgan, hamda tarmoqda joylashtirilgan simsiz sensorlarning ishonchlilik modellari ishlab chiqilgan.

Masofaviy monitoring tizimida simsiz sensor tarmoqlaridan foydalanish

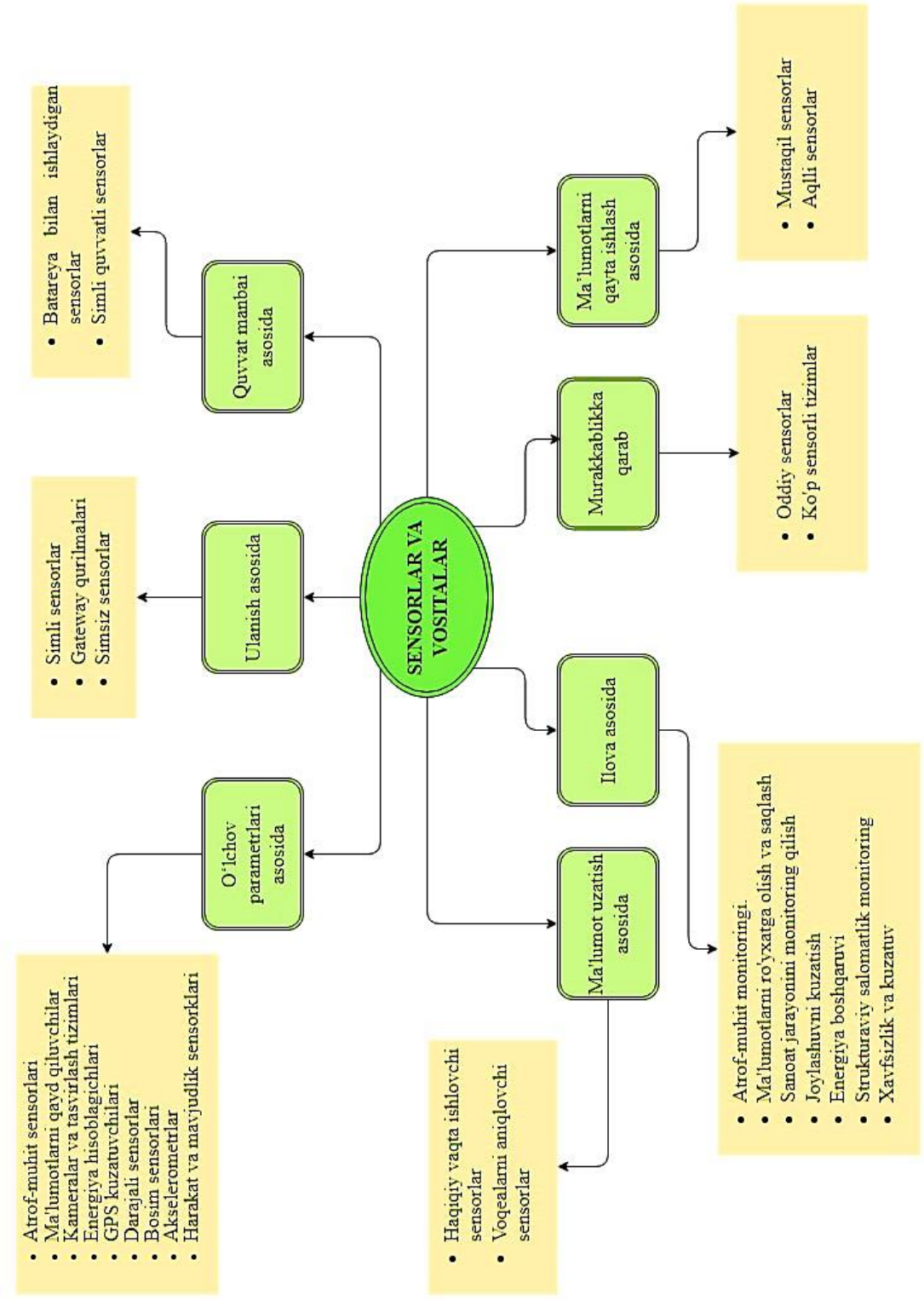
Elektr taqsimlash tarmoqlarining samarali va ishonchli ishlashini ta'minlashda past kuchlanishli havo elektr uzatish liniyalarini masofadan monitoring qilish muhim ahamiyatga ega.

Masofaviy monitoring - bu uzoqda joylashgan aktivlar yoki tizimlarning holati va xususiyati haqida ma'lumotlarni kuzatish va yig‘ish, olingan ma'lumotlar asosida tizim haqida bashoratlash, hamda masofadan nazorat qilish jarayonidir. Ushbu jarayon real vaqt rejimida ma'lumot to‘plash uchun sensorlar, aloqa texnologiyalari va ma'lumotlarni tahlil qilishdan foydalanishni o‘z ichiga oladi. Past kuchlanishli havo elektr uzatish liniyalari kontekstida masofaviy monitoring operatsion samaradorlikni, tizim ishonchliligini, xavfsizlikni va iqtisodiy samaradorlikni oshirishda hal qiluvchi rol o‘ynaydi [5-9].

Masofaviy monitoring tizimini amalga oshirishda sensorlar va vositalar turli mezonlarga ko‘ra tasniflanishi mumkin. Quyida masofaviy

© *D.A. Davronbekov, A.F. Xayrullayev*

monitoring tizimlarida keng qo‘llaniladigan sensorlar va vositalarning qiyosiy tasnifi keltirilgan (1-rasm).



1-rasm. Simsiz sensorlar va vositalarning tasniflanishi

Shuni ta’kidlash kerakki, bu tasniflar bir-birini istisno qilmaydi, sensorlar va vositalar o‘zlarining funksiyalariga ko‘ra bir nechta toifalarga tegishli bo‘lishi mumkin. Sensorlar va vositalarni tanlash masofaviy monitoring tizimining o‘ziga xos talablariga, kuzatilayotgan muhitga va monitoring jarayonining istalgan natijasiga bog‘liq.

(cc) BY © *D.A. Davronbekov, A.F. Xayrullayev*

Simsiz sensorli tarmoqlar (SST) turli domenlarda masofaviy monitoring tizimlari uchun kuchli texnologiya sifatida paydo bo‘lgan. SSTlarning ishonchliligi masofaviy sensorlardan ma’lumotlarni aniq va uzluksiz yig‘ishni ta’minlashda hal qiluvchi rol o‘ynaydi. Masofaviy monitoring tizimlarida simsiz sensor tarmoqlarining ishonchlilik jihatlari sifatida quyidagilarni keltirish mumkin:

1. *Tarmoqqa ulanish:* SSTlarning ishonchliligi tarmoq ulanishini o‘rnatish va saqlashga bog'liq. SST ko'pincha ko'p tarmoqli aloqadan foydalanadi, bu erda ma'lumotlar oraliq tugunlar orqali qabul qiluvchi tugun yoki tayanch stantsiyaga yetib boradi. Ma'lumotlarni uzatishning ishonchliligi marshrutlash protokollarining samaradorligi, tarmoq topologiyasi va muqobil aloqa yo'llarini ta'minlash uchun ortiqcha tugunlarni joylashtirishga bog'liq.

2. *Energiya samaradorligi:* Energiya samaradorligi, ayniqsa, uzoq va kirish qiyin bo'lgan muhitlarda sensorli tugunlarning cheklangan batareya muddati tufayli SSTlarda muhim omil hisoblanadi. Ishonchli monitoring tizimlari energiya sarfini minimallashtirish uchun energiyadan xabardor protokollar va algoritmlardan foydalanishi kerak. Ish aylanishi, uyquni rejalashtirish va ma'lumotlarni yig'ish kabi texnikalar sensor tugunlarining ishlash muddatini uzaytirish orqali tarmoq ishonchliligini sezilarli darajada oshirishi mumkin.

3. *Xatolarga chidamlilik:* SSTlar tugunlarning nosozliklari va atrof-muhit muammolariga toqat qilish uchun mo'ljallangan bo'lishi kerak. Ortiqcha tugunlarni joylashtirish yoki klasterlash usullarini qo'llash orqali tarmoq ba'zi tugunlar javob bermasa yoki ishlamay qolsa ham ishlashda davom etishi mumkin. Ma'lumotlarning takrorlanishi va ortiqchaligi kabi xatolarga chidamlilik mexanizmlari ma'lumotlar mavjudligi va aniqligini ta'minlash orqali masofaviy monitoring tizimlarining ishonchliligiga hissa qo'shadi.

4. *Ma'lumotlar yaxlitligi va sifati:* masofaviy monitoring ilovalarida to'plangan ma'lumotlarning aniqligi va yaxlitligi juda muhimdir. Ishonchlilik ma'lumotlarni tekshirish mexanizmlarini, xatolarni tuzatish kodlarini va sifatni nazorat qilish usullarini qo'llash orqali erishiladi. Ushbu chora-tadbirlar masofaviy datchiklardan olingan ma'lumotlarning ishonchli, izchil va xato va buzg'unchiliksiz bo'lishini ta'minlaydi.

5. *Xavfsizlik:* Masofaviy monitoring tizimlari ko'pincha nozik ma'lumotlar bilan ishlaydi, bu esa xavfsizlikni ishonchlilikning muhim jihatiga aylantiradi. SST ma'lumotlarni ruxsatsiz kirish, manipulyatsiya yoki ushlashdan himoya qilish uchun shifrlash, autentifikatsiya va kirishni boshqarishni o'z ichiga olgan mustahkam xavfsizlik choralarini qo'llashi kerak. Ma'lumotlarning maxfiyligi va yaxlitligini ta'minlash masofaviy monitoring tizimining ishonchliligi va ishonchliligini oshiradi.

6. *Atrof-muhit muammolari:* masofaviy monitoring tizimlari turli xil ekologik muammolarga duch keladi, masalan, og'ir ob-havo sharoiti, signalning susayishi va shovqin. Ishonchlilikni mos apparat dizaynlari, antennalarni joylashtirish va signalni kuchaytirish usullari yordamida oshirish mumkin. Bundan tashqari, ZigBee yoki Wi-Fi kabi ishonchli va mustahkam simsiz aloqa standartlarini tanlash qiyin sharoitlarda masofaviy monitoring tizimlarining ish faoliyatini yaxshilashi mumkin.

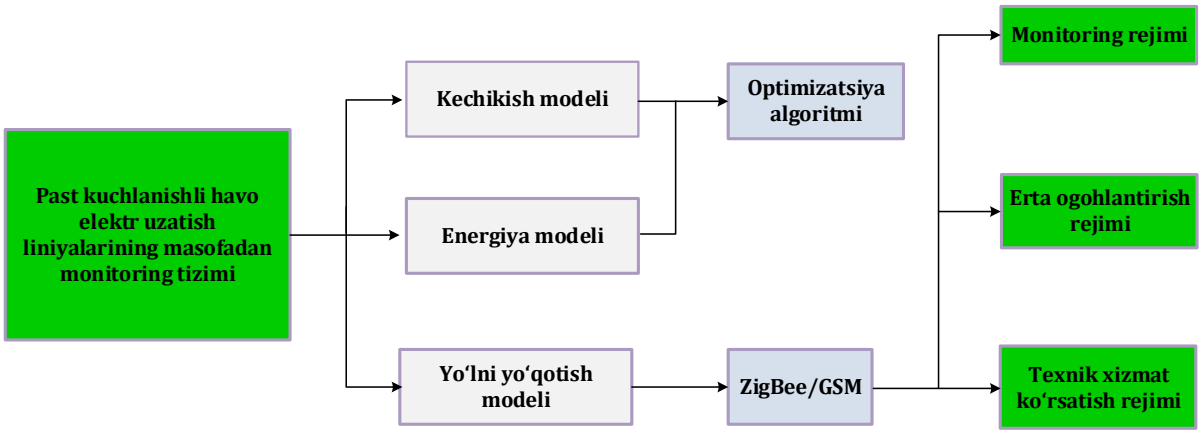
7. *Tarmoqni boshqarish va texnik xizmat ko‘rsatish:* SST ishonchliligini ta'minlash uchun samarali tarmoq boshqaruvi va texnik xizmat ko'rsatish amaliyoti muhim ahamiyatga ega. Tarmoq ishlashining muntazam monitoringi, nosozliklarni proaktiv aniqlash va nosoz tugunlarga o‘z vaqtida texnik xizmat ko‘rsatish va ta‘mirlash masofaviy monitoring tizimlarining umumiy ishonchliligiga yordam beradi [10, 11, 12].

Past kuchlanishli havo elektr uzatish liniyalarining masofadan monitoring qilish arxitekturasi

Past kuchlanishli HEULning asosiy hajmi olis qishloq, yoki zich joylashgan shahar hududiga to‘g‘ri kelishini hisobga olgan holda, elektr uzatish liniyalarining nosozliklar darajasini tahlil qilishda uchta monitoring holatini belgilab olindi: past xavfli holat, yuqori xavfli holat va nosozliklarni saqlash holati. Elektr uzatish liniyasining ishdan chiqish darajasi past yoki yuqori darajada, nosozlik holatida elektr uzatish liniyasida nosozlik yuz berishi va joylashuvga texnik xizmat

© *D.A. Davronbekov, A.F. Xayrullayev*

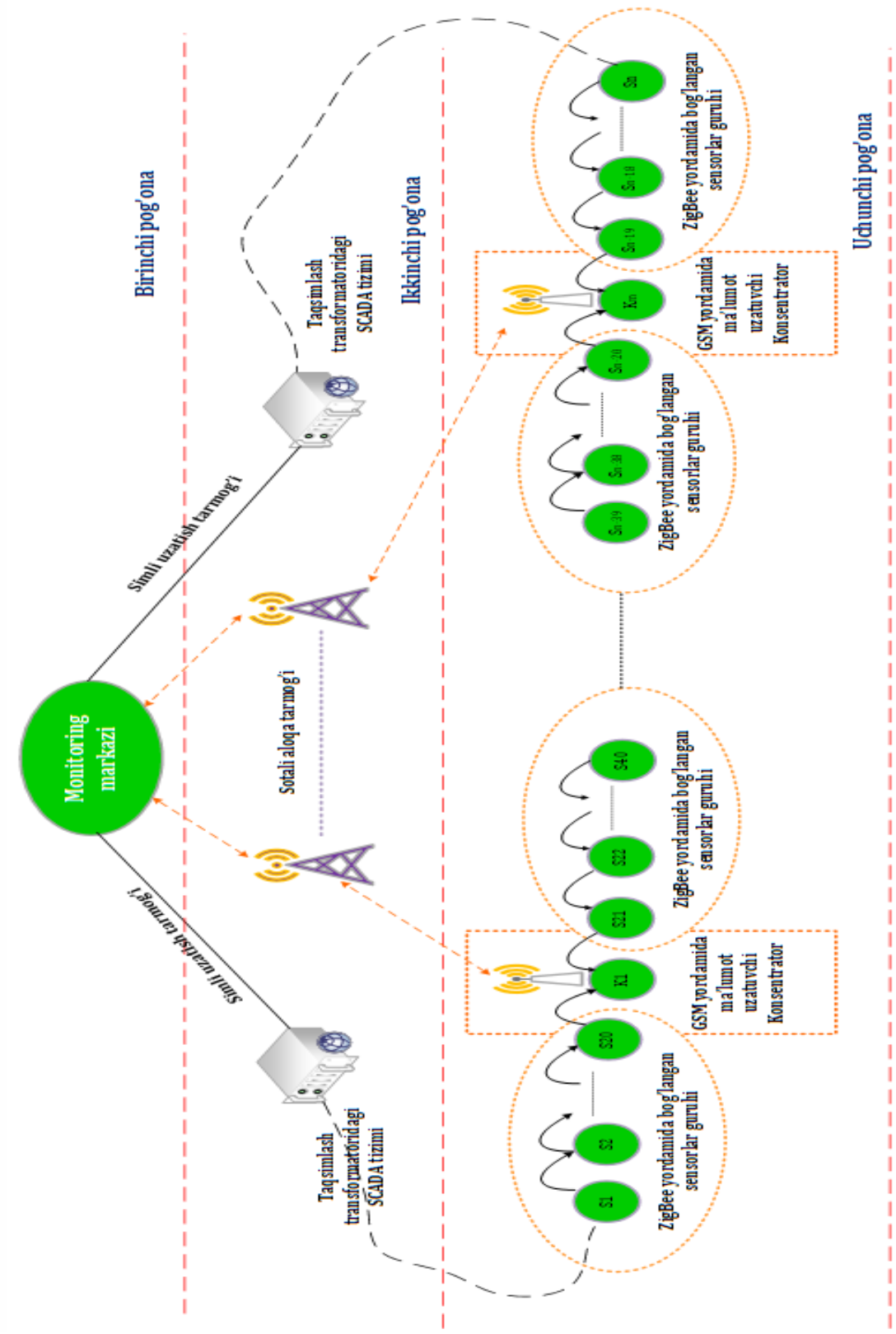
ko‘rsatish zarurati paydo bo‘lishi mumkin. Shubhasiz, uchta monitoring holatining aloqa sifatiga qo‘yiladigan talablari har xil va yagona ish rejimiga ega bo‘lgan monitoring tizimi tarmoqning ma’lumotlarni uzatish muammosini hal qila olmaydi. Ushbu muammoni hal etish uchun, ushbu maqolada monitoring tizimining kechikish modeli, energiya modeli va yo‘lni yo‘qotish modeli taklif etiladi. Kechikish va energiyani muvozanatlash uchun optimal yechimni optimallashtirish algoritmi orqali olish mumkin.



2-rasm. Past kuchlanishli HEULda tizim monitoringi sxemasini loyihalash

3-rasmda 0.4 kV havo elektr uzatish liniyalaridagi uch fazali taqsimlash tarmoqlarida tavsiya etilgan uch qatlamli monitoring tarmog‘i tuzilishi ko‘rsatilgan. Tarmoq narxini hisobga olgan holda, ZigBee birinchi qatlamda katta sensor ma’lumotlarini yig‘ish va keyin uni konsentrator tuguniga uzatish uchun qabul qilindi. Kechikish vaqtiga bo‘lgan talabni qondirish uchun ikkinchi qatlamda konsentrator tugunining ma’lumotlarini monitoring markaziga uzatish uchun uyali mobil tarmoq (GSM/GPRS) ishlatilgan. Uchinchi qatlam simli va uyali mobil tarmoqlar orqali uzatiladigan ma’lumotlarni to‘plashi mumkin bo‘lgan monitoring markazidan iborat [12-15].

© *D.A. Davronbekov, A.F. Xayrullayev*



3-rasm. Monitoring tarmog‘i tuzilmasi

Taklif etilayotgan uch pog‘onali monitoring tuzilmasida sensor tarmoqlaridan olingan ma’lumotlar ZigBee moduli yordamida konsentratorga yuboriladi. Konsentratorda GSM/GPRS moduli orqali ma’lumotlar mikrokontrollerli boshqaruv qurilmasi yordamida monitoring markaziga yuboriladi. Monitoring markazida qabul qilingan ma’lumotlar tahlili qilinadi va tegishli chora-tadbirlarni bajarish to‘g‘risida hisobot taqdim etiladi.

© D.A. Davronbekov, A.F. Xayrullayev

Sensorlar tizimining ishonchliligini baholash modellari va usullari

Taklif etilayotgan tizimda asosiy ma'lumot uzatishda sensorlar va simsiz modullar qo'llanilganligi uchun maqolada liniyaning rad etmasdan ishlash ehtimolligini baholashda radiotexnik tizimlarning ishonchliligini hisoblashning eksponensial taqsimot qonunidan foydalanilgan. Radiotexnik tizimlarda ob'yektning ishonchliligini baholash va ishlash qobiliyatini bashorat qilish masalalarini yechish uchun $P(t)$, $f(t)$ yoki $\lambda(t)$ ko'rsatkichlardan birining analitik ifodalari bilan beriladigan matematik modelga ega bo'lish kerak. Modelni aniqlashning asosiy yo'li sinovlarni o'tkazish, statistik baholashlarni hisoblash va ularni analitik funksiyalar bilan approksimatsiyalashdan iborat [13].

P(t) rad etmasdan ishlash ehtimolligi yoki *ishonchlilik funksiyasi* qayta tiklanmaydigan ob'yekt *t* ishlash vaqti momentigacha rad etmaslik ehtimolini ifodalaydi. Ko'rsatkich quyidagi xususiyatlarga ega:

1. $P(0) = 1$ (ob'yekt ishga tushguncha ishlash qobiliyatili ko'zda tutiladi);

2. $\lim_{t\to\infty} P(t) = 0$ (ob'yektning ishlash qobiliyatini cheksiz saqlay olmasligi ko'zda tutiladi);

3. $\frac{dP(t)}{dt} \le 0$, rad etishlar yuz berganidan keyin ob'yekt o'z-o'zidan qayta tiklanishi mumkin emasligi ko'zda tutiladi (xizmat ko'rsatuvchi xodimlar tomonidan qayta tiklanadigan tizimlar uchun bu ko'rsatkichdan foydalanilmaydi).

f(t) r*ad etishlar taqsimoti zichligi*ning statistik aniqlanishi quyidagicha:

$$\hat{f}(t) = \frac{\Delta n(t, t+\Delta t)}{N \cdot \Delta t}, \left[\text{ishlash birligi}^{-1}\right], \qquad (1)$$

ya'ni rad etishlar taqsimoti zichligi $[t, t + \Delta t]$ ishlash intervalida rad etgan ob'yektlar sonini *n* umumiy ob'yektlar soniga ko'paytmasining Δt ishlash intervalining davomiyligiga nisbati hisoblanadi.

Rad etmasdan ishlash ehtimolligini $Q(t) = 1 - P(t)$ birga to'ldirish rad etishlar ehtimolligi yoki ishonchsizlik funksiyasi deb ataladi. *Q(t)* rad etishlar ehtimolligi rad etishgacha tasodifiy vaqt berilgan t vaqtdan kichik bo'lishi ehtimolligi hisoblanadi.

λ(t) rad etishlar intensivligining statistik aniqlanishi quyidagi ifoda orqali tavsiflanadi:

$$\hat{\lambda}(t) = \frac{\Delta n(t, t+\Delta t)}{N(t) \cdot \Delta t}, \left[\text{ishlash birligi}^{-1}\right], \qquad (2)$$

ya'ni rad etishlar intensivligi [*t*, *t*+Δt] ishlash intervalida rad etgan ob'yektlar sonini *t* momentdagi yaroqli ob'yektlar soniga ko'paytmasining Δt ishlash intervali davomiyligiga nisbati hisoblanadi. Rad etishlar intensivligi elementlar ishonchliligining asosiy miqdoriy xarakteristikasi hisoblanadi. Agar u ma'lum bo'lsa, u holda boshqa barcha ishonchlilik ko'rsatkichlarini topish mumkin. 1-jadvalda ishonchlilik ko'rsatkichlari orasidagi bog'liqlik ko'rsatilgan.

1-jadval

Ishonchlilik ko'rsatkichlari orasidagi bog'liqlik [13]

Ko'rsatkich	*P(t)*	*Q(t)*	*f(t)*	*λ(t)*
P(t)	-	$1-P(t)$	$-\frac{dP(t)}{dt}$	$-\frac{1}{P(t)} \cdot \frac{dP(t)}{dt}$
Q(t)	$1-Q(t)$	-	$\frac{dQ(t)}{dt}$	$\frac{1}{1-Q(t)} \frac{dQ(t)}{dt}$

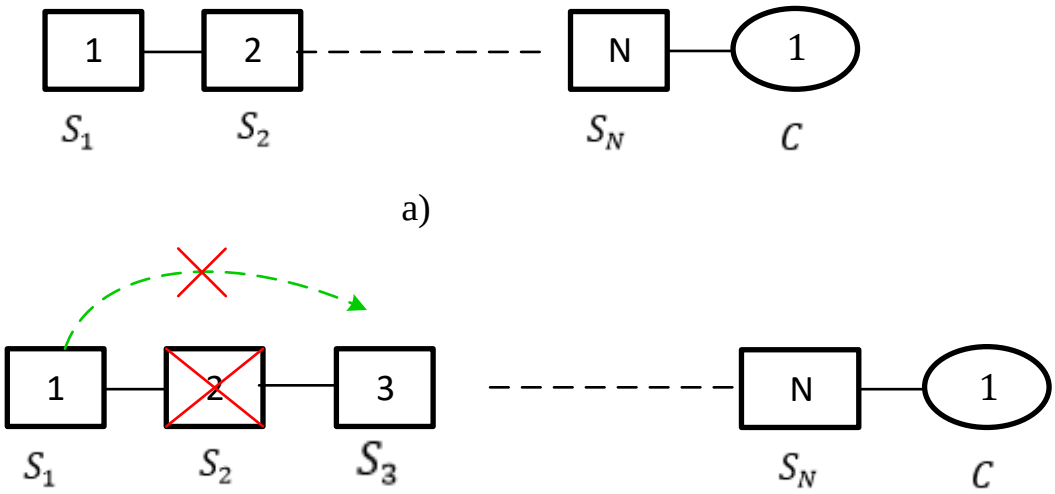
© *D.A. Davronbekov, A.F. Xayrullayev*

$f(t)$	$\int_t^{\infty} f(t)dt$	$\int_0^t f(t)dt$	-	$\frac{f(t)}{\int_t^{\infty} f(t)dt}$
$\lambda(t)$	$e^{-\int_0^t \lambda(t)dt}$	$1-e^{-\int_0^t \lambda(t)dt}$	$\lambda(t)e^{-\int_0^t \lambda(t)dt}$	-

Past kuchlanishli havo elektr uzatish liniyalarida qo'llaniladigan simsiz sensorli tarmoqning ishonchliligini baholashda quyidagi chegaraviy shartlar kiritiladi:

- sensorlar va konsentratorlarning funksional ketma-ketlikda ulanishi;
- ekspluatatsiya jarayonida $\lambda(t)$ rad etishlar intensivligining o'zgarmasligi ($\lambda = const$);
- tizimdagi elementlarning eksponensial qonunga amal qilishi;
- sensorlar va konsentratorlarning $P(t)$ va $\lambda(t)$ lari bir-biriga tengligi, ya'ni

3-rasmda keltirilgan masofaviy monitoring tizimi tuzilmasini hisobga olgan holda, SSTning ishonchliligi baholash uchun SST tarkibiga kiruvchi komponentlar (sensorlar $S_1 \ldots S_N$ va konsentrator C) ishonchlilik bo'yicha ulanish modeli keltirilgan (4-rasm).



4-rasm. Simsiz sensor tarmog'ining ishonchlilik modeli a) tarmoqning umumiy ulanishi b) Tarmoqdagi sensorlardan birining buzilganda trafikni uzilish holati

Hisoblash ma'nosida eng oddiy hol tizim elementlarining ketma-ket ulanishi hisoblanadi. Bunday tizimda istalgan elementning rad etishi butun tizimning rad etishiga teng bo'ladi. Ketma-ket ulangan o'tkazgichlar zanjiriga o'xshash, har birining uzilishi butun zanjirning uzilishiga teng, biz bunday ulanishni "ketma-ket" ulanish deb ataymiz.

Barcha sensorlar tarkibi bir xil elementlardan tuzilganligi va bir xil o'rnatilishini, hamda tizimdagi tarkibdagi komponentlar ishonchlilik bo'yicha ketma-ket ulanganligini hisobga olsak, u holda tizimning umumiy rad etmasdan ishlash ehtimolligi quyidagi ifoda orqali aniqlanadi:

$$P_{S_1} = P_{S_2} = P_{S_3} = \cdots \cdot = P_{S_N} = P_C \quad (3)$$

$$P_{sys_1} = P_{S_1} \cdot P_{S_2} \cdot \ldots \cdot P_{S_N} \cdot P_C = P_C * \prod_{i=1}^{N} P_{S_i} \quad (4)$$

bu yerda, $P_{S_1}, P_{S_2} \cdot \ldots \cdot, P_{S_N}$- tarmoqdagi sensorlarning rad etmasdan ishlash ehtimolligi,

© D.A. Davronbekov, A.F. Xayrullayev

P_C- konsentratorning rad etmasdan ishlash ehtimolligi. (3) shartni qanoatlantirshini hisobga olsak, (4) ifodani quyidagicha ifodalash mumkin:

$$P_{sys_1} = P_C * P_S^N \qquad (5)$$

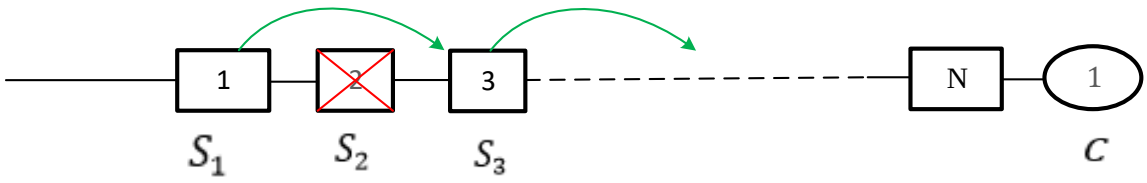
Ekspluatatsiya jarayonida $\lambda(t)$ rad etishlar intensivligining o'zgarmasligi $(\lambda = const)$ hamda, tizimdagi elementlarning eksponensial qonunga amal qilishini hisobga olsak ($P = e^{-\lambda * t}$) yuqoridagi (4-rasm) 1-ulanish modeli uchun tizimning rad etmasdan ishlash ehtimollgi quyidagicha ifoadalanadi:

$$P_{sys_1} = e^{-\lambda_C * t} * e^{-\lambda_S * N * t} = e^{-(\lambda_C + \lambda_S * N) * t} \quad (6)$$

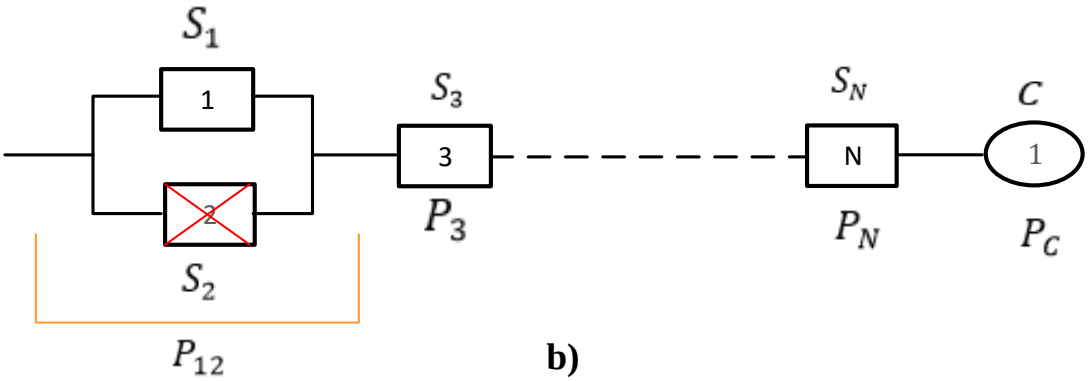
Masofaviy monitoring tizimida sensorlar va modullarning ketma-ket zanjirida texnik nosozlikllar va tashqi ta'sirlar natijasida buzilishlar yuzaga kelishi mumkin. Albatta, tizimning ishonchlilik modellarini yaratishda, ushbu holatlarni hisobga olish kerak. 3-rasmda keltirilganidek, SSTda ZigBee moduli orqali ma'lumotlar konsentratorga uzatiladi. ZigBee modulining sifatli aloqa bilan ta'minlash masofasi 100m dan ko'proq ekanligi va unda retranslyatorlik xususiyati borligini hisobga olsak, buzilish yuzaga kelganda bir qancha modellarni taklif etish mumkin [15-18].

Tiziming (5,a - rasm) rad etmasdan ishlash ehtimolligini baholash ifodasini (modelini) ishlab chiqishda qo'shimcha shartlarni belgilab qo'yamiz:

- axborot tarqalishining maksimal masofasi ketma-ketligidagi uchta sensor oralig'ida, undan ortiq masofaga uzatilmaydi;
- bir liniyada bir vaqtda faqat bitta sensor ishdan chiqishi (rad etishi) mumkin.



a)



b)

5-rasm. Bitta liniyadagi sensorlarning faqat bittasi buzilgandagi holat modeli a) tarmoqning umumiy ulanishi b) tarmoqdagi sensorlardan birining buzilganda trafikni uzilmasdan uzatilish holati

Bu holatda ham yuqoridagi (3) ifoda o'rinli, hamda sensorlar S_1 va S_2 (5,b-rasm) ishonchlilik bo'yicha parallel ulangan deb hisoblanadi, bu holatda rad etmasdan ishlash ehtimolligi:

$$P_{12} = [1 - (1 - P_{S1})(1 - P_{S2})] = 2P_S - P_S^2 (7)$$

Aytaylik, tarmoqda har bir liniyaning faqat bitta sensori ishdan chiqsa, u holda modelning umumiy ko'rinishini yuqoridagidek tasvirlash mumkin (5, b-rasm). Bu holda tarmoqdagi qurilmalarning rad etmasdan ishlash ehtimolligi quyidagicha ifodalanadi:

© *D.A. Davronbekov, A.F. Xayrullayev*

$$P_{sys_2} = (2P_S - P_S^2) * P_{S3} \cdot P_{S4} \cdot \ldots \cdot P_{S_N} \cdot P_C, (8)$$
$$P_{sys_2} = (2P_S - P_S^2) * P_C * \prod_{i=1}^{N-2} P_{S_i}. \quad (9)$$

Ekspluatatsiya jarayonida $\lambda(t)$ rad etishlar intensivligining o'zgarmasligi $(\lambda = const)$ hamda, tizimdagi elementlarning eksponensial qonunga amal qilishini hisobga olsak $(P = e^{-\lambda * t})$ yuqoridagi (5,b-rasm) 2-ulanish modeli uchun tizimning rad etmasdan ishlash ehtimollgi quyidagicha ifoadalanadi:

$$P_{sys_2} = (2e^{-\lambda_S * t} - e^{-2\lambda_S * t}) * e^{-\lambda_C * t} * e^{-(N-2) * \lambda_S * t} \quad (10)$$

(10) ifodani umulashtirganimizda:

$$P_{sys_2} = (2e^{-\lambda_S * t} - e^{-2\lambda_S * t}) * e^{-[\lambda_C + (N-2)\lambda_S] * t}$$

(11) ga ega bo'lamiz.

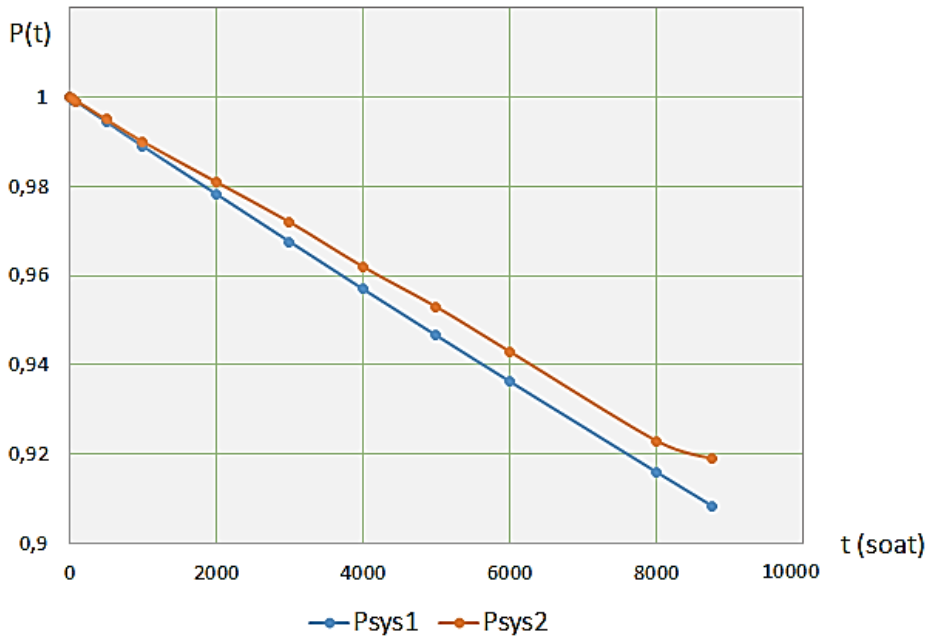
Ushbu tahlillar natijasini aniqroq ifodalash uchun (6) va (11) ifodalar yordamida 2 xil ulanishdagi tizimning 1 yil (8760 soat) mobaynida ishonchli ishlash ehtimolligini hisoblaymiz (2-jadval). Bunda

$N = 10,\ \lambda_S = \lambda_C = 10^{-6}\frac{1}{soat}$ ga miqdorga teng deb qabul qilinadi.

2-jadval

Tarmoqning 1 yil (8760 soat) davomida rad etmasdan ishlash ehtimolligi ko'rsatkichlari

t, soat	0	48	100	500	1000	2000	3000	4000	5000	6000	8000	8760
P_{sys_1}	1	0,9994	0,9989	0,9945	0,9890	0,9783	0,9676	0,957	0,9466	0,9363	0,9160	0,9084
P_{sys_2}	1	0,9995	0,9991	0,995	0,990	0,981	0,972	0,962	0,953	0,943	0,923	0,920



6-rasm. Turlicha ulanishdagi liniyalarning rad etmasdan ishlash ehtimolligi grafigi

Yuqoridagi grafikdan ko'rinib turibdiki, tarmoqda sensorlarning birortasi ishdan chiqqanda ham, SST tarmoqning ishonchlilik ko'rsatkichi (rad etmasdan ishlash ehtimolligi) yuqoriligicha qolmoqda.

II.Xulosa

© *D.A. Davronbekov, A.F. Xayrullayev*

Tajribalar shuni ko‘rsatdiki, taklif etilayotgan modellar orqali past kuchlanishli HEUL holatini SST asosida masofadan monitoringini ishonchli va sifatli amalga oshirish imkoni mavjud. Maqolada masofadan monitoring tarmog‘ining ketma-ket ulanishi holati va sensorlarning ishdan chiqqan (rad etgan) holatlarida ma’lumotlar trafigini konsentratorga yuborish mumkinligi aniqlandi. Tarmoqning vaqt o‘tishi bilan biror sensori ishdan chiqqanda ham ishonchliligi oldingi holatiga qaraganda yuqoriroq bo‘lishi keltirib o‘tildi. Yuqoridagi tahlillar natijasida shuni aytish mumkinki, past kuchlanishli HEUL uchun masofaviy monitoring tizimlarida qo‘llaniladigan simsiz sensorli tarmoqlarning ishonchliligini baholash modeli ushbu tizimlarning umumiy muvaffaqiyatini ta’minlashda katta rol o‘ynaydi [19-20]. Tarmoqning turli jihatlardagi ish faoliyatini tizimli ravishda baholash, potensial zaifliklarni bartaraf etish va takomillashtirishni amalga oshirish orqali kommunal xizmatlar o‘zlarining energiya taqsimlash infratuzilmasining ishonchliligi va uzoq umrini oshirishi mumkin, bu esa pirovardida iste’molchilarga ham, tarmoqning barqarorligiga ham foyda keltiradi.

III.Foydalanilgan adabiyotlar

1. Moustafa E. Energy efficiency -the innovative ways for smart energy the future towards modern utilities, Electric Power Distribution Handbook, T. A. Short. Taylor & Francis Group. 6000 Broken Sound Parkway NW, Suite 300. ISBN 978-953-51-0800-9. Number of pages 408. http://dx.doi.org/10.5772/2590.
2. Janaka B. Ekanayake, Nick Jenkins, Kithsiri M. Liyanage, Jianzhong Wu, Akihiko Yokoyama. Smart Grid Technology and Applications. John Wiley & Sons, 2012 M04 9 - 320 pages
3. Rácz L, Szabó D, Göcsei G, Németh B. Distributed Thermal Monitoring of High-Voltage Power Lines. Sensors. 2023; 23(5):2400. https://doi.org/10.3390/s23052400
4. Ibrahem M. I., Nabil M., Fouda M. M., Mahmoud M., Alasmary W., and F. Alsolami, “Efficient privacy-preserving electricity theft detection with dynamic billing and load monitoring for AMI networks,” IEEE Internet of Things Journal, vol. 8, no. 2, pp. 1243–1258, 2020.
5. Xayrullayev A.F. SIMSIZ SENSOR TARMOQLARDA QO’LLANILADIGAN STANDART PROTOKOLLAR VA TEXNOLOGIYALAR //International Journal of Contemporary Scientific and Technical Research. – 2022. – C. 263-267.
6. Zeng, H.; Zuo, P.; Deng, F.; Zhang, P. Monitoring System of Transmission Line in Mountainous Area Based on LPWAN. *Energies* 2020, *13*, 4898. https://doi.org/10.3390/en13184898
7. Al-maitah, Khaled & Al-Odienat, Abdullah & Al-Khriesat, Batool. (2020). Monitoring High Voltage Power Lines Using Efficient WSN. Advances in Energy and Power. 7. 10-19. doi: 10.13189/aep.2020.070102.
8. Davronbekov D.A., Khayrullaev A.F. Models and algorithms for remote monitoring of the condition of overhead power lines // Bulletin of TUIT: Management and Communication Technologies. ISSN 2181-1083. 2022. Vol-2(9)
9. Masaki SANDA, Takao KOJIMA, Eiji HIGASHI, Takeshi MARUYAMA, Narumi IWAMA, and Osamu SAKAI. Overhead Transmission Line Monitoring System for Dynamic Rating // ENVIRONMENT&ENERGY. SEI TECHNICAL REVIEW NUMBER 87. OCTOBER 2018
10. Abdelrahman Sobhy, Tamer F. Megahed, Mohammed Abu - Zahhad. Overhead transmission lines dynamic rating estimation for renewable energy integration using machine learning. Energy Reports. Volume 7. Supplement 5. 2021. Pages 804-813. ISSN 2352-4847. https://doi.org/10.1016/j.egyr.2021.07.060
11. Dwarakesh, K.&Jeyasekar, C. Design and Implementation of Low-cost Remote Monitoring of Distribution Transformer with Consumer wise Energy recording, Load control & Power theft detection using Internet of Things. // International Journal of Advanced Research in Electrical Engineering. Published 2018 Engineering.
12. Khujamatov Kh.E., Khasanov D.T., Reypnazarov E.N. “Modeling and Research of Automatic Sun Tracking System on the

© *D.A. Davronbekov, A.F. Xayrullayev*

bases of IoT and Arduino UNO", International Conference on Information Science and Communications Technologies ICISCT 2019, Tashkent, Uzbekistan – 2019.
13. D.Davronbekov, O'.Matyokubov. Radiotexnik qurilmalarining ishonchliligi: darslik. – Toshkent. – "Fan va ta'lim" nashriyoti. -2023. – 192 b.
14. Davronbekov D. A., Matyokubov U. K. Reliability of the BTS-BSC system with different types of communication lines between them //International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering. – 2020. – Т. 9. – №. 4. – С. 6684-6689.
15. Nafisa Inoyatovna Juraeva et al. Analysis of The Energy Efficiency of Wireless Communication When Receiving A Data Stream2020 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 981 032007. DOI: 10.1088/1757-899X/981/3/032007.
16. Muruganandhan D.A., Muthunagai R.,Rajkumar S.,Mohamed Vasif J. "Remote Monitoring of Distribution Transformer with Power Theft Detection using PLC & SCADA," 2020 International Conference on System, Computation, Automation and Networking (ICSCAN), Pondicherry, India, 2020, pp. 1-4, doi: 10.1109/ICSCAN49426.2020.9262306
17. O'G'Li, Xayrullayev Alisher Fayzulla. "PAST KUCHLANISHLI HAVO ELEKTR UZATISH LINIYALARI UCHUN INTELLEKTUAL AXBOROT MONITORINGI TIZIMLAR TAHLILI." *Science and innovation* 2.Special Issue 3 (2023): 467-471.
18. Dineshkumar K., Ramanathan P., and Ramasamy S. "of ARM processor based electricity theft control system using GSM network" 2015 International Conference on Circuits, Power and Computing Technologies [ICCPCT-2015], Nagercoil, India, 2015, pp. 1-6, doi: 10.1109/ICCPCT.2015.7159401
19. Sanyukta A. Patil. Wireless Technology for Power Theft Monitoring // Technical Research Paper Competition for Students (TRPCS-2K17), 23 March 2017. G. H. Raisoni College of Engineering and Management, Amravati, Maharashtra, India. http://www.ghrcema.raisoni.net/TRPCS-2K17.php
20. F. Deng, P. Zuo, K. Wen and X. Wu, Low Delay Technology Research of Transmission Line Tower Monitoring Network Integrating WSN and RFID, IEEE Access, vol. 7, pp. 111065-111073, 2019.
21. Li, Y.; Teng, Y.; Leng, O.; Yuan, S.; Cai, Z. Reliability evaluation of on-line monitoring device over transmission line based on data driven concept. Proc. CSEE 2018, 31, 4410–4419.

© *D.A. Davronbekov, A.F. Xayrullayev*