

GAZ SIFATINI TAHLIL QILISHDA TIZIM TARKIBIY MODELLARINI QURISH VA ISHONCHLILIGINI BAHOLASH

Akmalov Sayfiddin Akmal O'g'li

NDKTU "Avtomatlashtirish va boshqaruv" kafedrası talabasi

Annotatsiya:

Bu maqola ishlab chiqish jarayonida muallif tomonidan turli xildagi manbalar ma'lumotlariga tayangan holda gaz sifatini tahlil qilishda tizim tarkibiy modellari qurilishi va ishonchliligi baholanishi ustida ma'lum tushunchalar ustida ishlanmalar olib borildi. Shu maqsadda bunday gazni tahlil qilish tizimlari uchun model ishlab chiqilgan va ushbu tizimlarning strukturaviy ishonchliligi hisoblangan. Quyida gazni tahlil qilish tizimlarining ishonchliligi baholashning mavjud usullarining asosiy kamchiliklari muhokama qilindi. Va nihoyat, bunday tizimlarning ishonchliligi baholash uchun yangi ehtimollik yondashuvi taklif qilindi. Ushbu yondashuv o'lchangan parametrlar soniga bog'liq bo'lgan o'lchov vositalarining quyi tizimini o'z ichiga olgan. Xususan, u gaz aralashmasining bitta parametrini o'lchash uchun mos edi, ammo uning samaradorligini tekshirish uchun tizimdagi nosozliklarni aniqlash va qayd etish uchun bir qator mezonlar ko'rib chiqildi. Har bir mezon uchun ishonchlilik indeksleri uchun turli xil matematik tenglamalar tuzildi, shu jumladan ish vaqtini taqsimlash funksiyasi, ishonchlilik funksiyasi va ishlaymay qolish uchun o'rtacha vaqt kabilarni aytish mumkin.

Kalit so'zlar: tabiiy gaz sifati ; ishonchlilikni baholash; tizimda nosozliklar; gazni tahlil qilish tizimlari; ehtimoliy yondashuv; nosozlikni aniqlash; tarkibiy model;

1. Kirish. Tabiiy gaz insonning kundalik hayotida va hatto ba'zi yirik sanoat va fabrikalarda eng muhim resurslardan biridir. Shu sababli, tabiiy gazni qazib olish va uzatish kabi masalalarni o'rganish ko'plab tadqiqotchilarning diqqat markazida bo'ldi. Shuningdek, turli maqsadlar uchun saqlash tanklarini loyihalash, qurish va optimallashtirish ko'rib chiqildi, chunki bu tanklar portlash va portlash xavfi ostida [1]. Yuqorida aytib o'tilgan holatlarga qo'shimcha ravishda, tabiiy gazning sifati ham muhimdir va tizimning samaradorligi va yakuniy mahsulot sifatiga sezilarli ta'sir ko'rsatishi mumkin. Shuning uchun gaz sifatini tahlil qilish ham juda muhimdir. Shu munosabat bilan, axborot hisoblash



tizimini loyihalashda ishlatilishi mumkin bo'lgan gaz sifatini tahlil qilish uchun turli xil ma'lumotlarni qayta ishlash usullari taqdim etildi. Nazariy mulohazalar asosida bunday tizimni yaratishning eng samarali usulini tanlash avtomatik axborot tizimini loyihalash vaqti va xarajatlarini kamaytiradi[2,3]. Keyinchalik, tanlangan tizimning ishonchliligini tekshirish va uning tuzilishini, shu jumladan tizim talablarini ishlab chiqish uchun ishlatiladigan dasturiy va apparat vositalarini o'rganish kerak. Quyida bunday avtomatik axborot hisoblash tizimining modelini amalga oshirish muhokama qilinadi. Oldingi tadqiqotlarimizda ushbu model ishlatilgan va juda yaxshi samaradorlik natijalari haqida xabar berilgan [4]. Aslida, bu tizim gaz sifatini aniqlash uchun analitik tahlil usuliga asoslangan edi. To'g'ri, ko'plab shunga o'xshash tizimlar turli sohalarda taklif etiladi. Shu bilan birga, to'liq miqyosli va yarim tabiiy sinovlarda mavjud bo'lgan muammo, ushbu turdagi tizim qanday ishlashini tushunishdan tashqari, boshqaruv qarorlarini qabul qilish uchun tizimning ishonchliligini baholash, uning etarli yoki yo'qligi to'g'risida. ishlab chiqilishi yoki butunlay tark etilishi va almashtirilishi kerak yanada rivojlangan tizimlar tomonidan. Bundan tashqari, bunday tizimlarning xizmat qilish muddati odatda 10 yil atrofida bo'lib, uskunarlar jihatidan nisbatan yuqori xarajatlarga olib keladi. Biroq, mavjud usullar odatda bunday baholash uchun mos emas. Ushbu muammoni hal qilish uchun ushbu tadqiqotda tizim ishonchliligining mos yangi modeli yaratildi va bu erda ishonchlilik ko'rsatkichlari formulalari taqdim etildi[5]. Ushbu ishonchlilik ko'rsatkichlari keng ko'lamlil ilmiy tadqiqotlarda qo'llaniladi va biz ularni gazni tahlil qilish tizimini kuzatish uchun ishlatdik. Shu maqsadda gazni tahlil qilish tizimlarining ishonchliligini baholashning ehtimoliy usuli o'zgartirildi.

2. Materiallar va usullar. Ushbu maqolada ishlab chiqilgan usul gazni tahlil qilish tizimlarining ixtisoslashtirilgan strukturaviy diagrammalarini loyihalashga imkon berdi. Bundan tashqari, bunday blok-diagrammalarni o'rganish orqali maqsadli tizimlarning ishonchlilik xususiyatlarini ehtimollik usullari bilan baholash mumkin edi. Bundan tashqari, gazni baholash tizimlarining muammoli hududlari ishonchliligi va himoya xususiyatlari nuqtai nazaridan tan olinishi mumkin. Va nihoyat, ushbu tadqiqotda ishlab chiqilgan gazni tahlil qilish tizimi ishonchlilik nuqtai nazaridan baholandi. Bunga erishish uchun bunday tizimlarning ishonchlilik darajasini aniqlash uchun asosiy atamalar va ishonchlilik belgilarini aniqlash juda muhim edi.



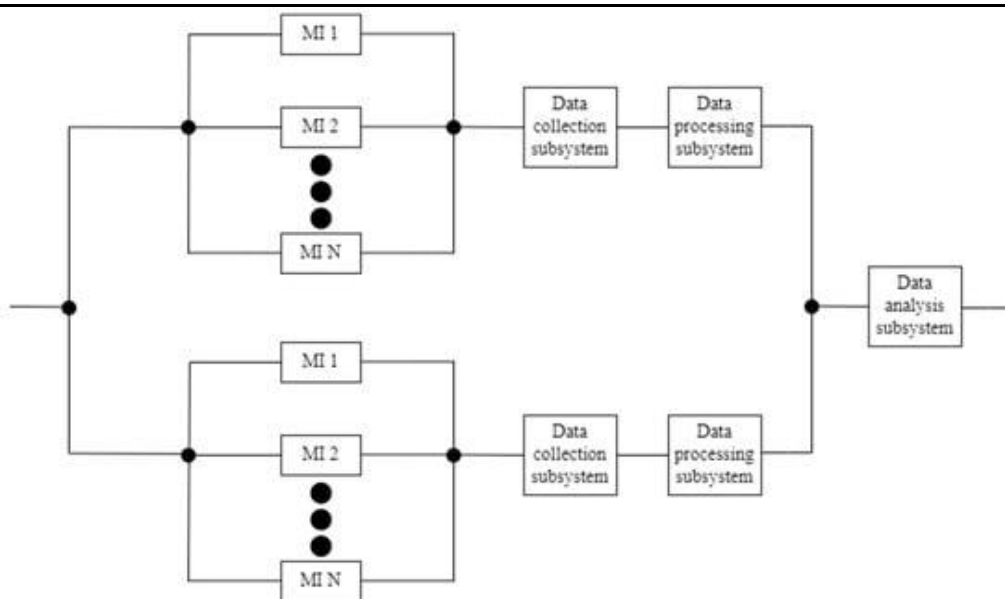
Aytish mumkinki, ishonchlilik-bu foydalanish, saqlash, saqlash va tashish holatlarida belgilangan vazifalarni bajarish uchun muhim bo'lgan barcha parametrlarning qiymatlarini (belgilangan diapazon ichida) saqlashga imkon beradigan ob'ektning mulki. [6]. Tizim ishonchligining asosiy shartlari va ko'rsatkichlari tizimning ishlashini baholash bilan bog'liq. Shu maqsadda tizimda yuzaga keladigan nosozliklar turini ajratish juda muhimdir. Nosozlik tizimdagi nosozlikni anglatadi, ya'ni u ishlashni to'xtatadi. Ushbu maqolada taklif qilingan tizimda nosozliklar ish diapazoniga ega bo'lgan parametrlar sifatida ko'rib chiqilgan va ularning qiymati ruxsat etilgan chegaradan oshib ketganda, bu nosozlik hodisasi sifatida qayd etilgan. Bundan tashqari, amaldagi tizimda ko'rib chiqiladigan asosiy ishonchlilik ko'rsatkichlari tizimning ishdan chiqish ehtimoli (ya'ni operatsion davrda ishlamay qolish ehtimoli), tizimning o'rtacha ish vaqti, ishlamay qolish darajasi va vaqtni ishlamay qolish uchun taqsimlash zichligi. Bundan tashqari, xatolarning paydo bo'lishi va nosozliklar soni va intensivligi ham ko'rib chiqiladi. Va nihoyat, tizimni ishlab chiqish va ishlatish jarayonida topilgan xatolarni tuzatish uchun usullardan foydalaniladi [7].

Texnik tizimlarning ishonchligini baholashning ko'plab usullari ehtimoliy yondashuv bilan bog'liq, masalan, Markov sxemalari. Ushbu usullar turli sohalarda ishlaydigan mashina, asbob va qurilmalarning ishonchligini baholash imkoniyatini beradi. Texnik tizimlar uchun ishonchlilik ko'rsatkichlarini olish uchun analitik va simulyatsiya strategiyalaridan ham foydalaniladi [8]. Bularga tasodifiy jarayon nazariyasi texnikasi kiradi; ekspert baholash (kashfiyotli bashorat); parchalanish (ekvivalentlik); va mantiqiy-ehtimollik, asimptotik, analitik va statistik strategiyalar. Shu bilan birga, gaz kompaniyalari singari sanoat kompaniyalari tomonidan uzluksiz texnologik jarayonlarga ega bo'lgan turli xil tizimlarning ishonchligini aniqlash uchun tasodifiy jarayonlar nazariyasi strategiyalari qo'llaniladi. Odatda, taqsimlangan tizimni loyihalash bosqichida ishonchlilik tizimni tashkil etuvchi elementlarning ishdan chiqish darajasi ma'lumotlari asosida hisoblanadi va ma'lumotlar empirik tarzda aniqlanadi. Biroq, umuman tizimning ishonchligi to'g'risida xulosa chiqarish uchun tizimning tuzilishini ko'rib chiqish va iloji bo'lsa tizimni takomillashtirish kerak. Qobiliyatsiz darajasi bilan bog'liq ma'lumotlar asosida tarkibiy ishonchligini hisoblash usullari keng ma'lum [9]. Taqsimlangan hisoblash va tarmoqni boshqarish tizimlari uchun bunday modellarni ishlab chiqish va optimallashtirish misollarini da topish mumkin.



Biroq, gaz sifatini tahlil qilish uchun ushbu usullar ba'zi kamchiliklarga ega. Strukturaviy ishonchlilik tushunchasi" tizimning belgilangan vaqt ichida belgilangan funktsiyalarni bajarish qobiliyati " gazni tahlil qilish sohasida juda mashhur. Shuning uchun ko'rib chiqilayotgan holatda qaysi funktsiyalar muhimligini aniqlash kerak edi. Ushbu ishning asosiy vazifasi tabiiy gaz sifatini tahlil qilish edi. Taklif etilayotgan tizimning strukturaviy ishonchliligini hisoblash uchun taqsimlangan tizim elementlarga bo'lingan. Bundan tashqari, ishonchlilik ko'rsatkichlarini olish uchun ishonchlilikning tarkibiy-mantiqiy diagrammalari ishlatilgan. Agar maqsad tizim holatlarining diskret cheklangan maydonidan foydalangan holda bunday tizimlarning ishlash usulini tavsiflash bo'lsa, amalda qo'llanilishi mumkin bo'lgan tizimlarning modelini qurish mumkin emas edi, chunki o'lchovlarning aniqligi doimiy ravishda o'zgarib turadi va vazifaga qarab o'zgarishi mumkin edi. Shuning uchun, ushbu bo'limda mualliflar gaz parametrlarini aniq aniqlashga asoslangan yangi metodologiyani taqdim etadilar. Taklif etilayotgan tizimning strukturaviy ishonchliligini hisoblash uchun taqsimlangan tizim elementlarga bo'lingan. Bundan tashqari, ishonchlilik ko'rsatkichlarini olish uchun ishonchlilikning tarkibiy-mantiqiy diagrammalari ishlatilgan. Ushbu diagrammalar bizga tizimdagi elementlarning munosabatlarini grafik tarzda namoyish etishda va elementlarning tizimning umumiy ishlashiga qanday ta'sir qilganligini aniqlashda yordam berdi. [10] Strukturaviy-mantiqiy diagramma-bu ketma-ket va/yoki parallel ravishda bir-biriga bog'langan elementlar to'plami. Strukturaviy ishonchlilikni hisoblash usullari keng tan olingan va bu usul normal holatlarda yaxshi ishlagan Tarqatilgan ma'lumotlarni yig'ish tizimining blok diagrammasi *I-rasmda* keltirilgan. Ushbu tizim to'rtta asosiy quyi tizimdan iborat edi: o'lchov asboblari quyi tizimi n o'lchov asboblari (MI), ma'lumotlarni yig'ish quyi tizimi, ma'lumotlarni qayta ishlash quyi tizimi va ma'lumotlarni tahlil qilish quyi tizimi.





1-rasm. Ushbu tadqiqotda taklif qilingan gaz sifatini tahlil qilish tizimining tarkibiy modeli.

O'lchov ma'lumotlari quyi tizimi tizimning ishlashini baholash uchun kerakli fizik parametrlarni va ma'lumot ma'lumotlarini olish uchun standart vazifada ishlatilishi mumkin bo'lgan o'lchash asboblari va uskunalaridan iborat edi.[11] Shuni ta'kidlash kerakki, ushbu quyi tizim tavsiya etilgan tizimning barcha xususiyatlariga ega bo'lgan simulyatsiya modelida sinovdan o'tkazildi, ayniqsa ommaviy oqim regulyatorlari yordamida aralashmalar tayyorlash, tijorat qo'llanilishi bilan o'lchovlarni ishlab chiqarish orqali tahlil qilishda yuqori aniqlikka erishish imkoniyati. Yuqorida aytib o'tilgan o'lchov vositalarining afzalliklaridan biri ularning mavjudligi va nisbatan arzon narxidir.[12] Bundan tashqari, o'rganilgan o'lchov ma'lumotlari quyi tizimiga o'lchov jarayonining vizual tasviri uchun asosiy o'lchangan parametrlarni, ayniqsa tovush tezligi, issiqlik o'tkazuvchanligi va karbonat angidrid konsentratsiyasini vizualizatsiya qilish kiritilgan.

Bu erda ma'lumotni tahlil qilish tizimiga ikkita mustaqil o'lchov kanali orqali kiritilgan ma'lumotlar. Tarqatilgan tizimning ishonchlilik xususiyatlarini va aniqligini oshirish uchun qo'shimcha o'lchov kanallarini qo'shish orqali sxemani kattalashtirish mumkin. *1-rasm*da keltirilgan sxemada ko'rinib turganidek, o'lchash asboblari parallel ravishda ulangan, chunki agar o'lchash asboblardan biri ishlaymay qolsa, tizim ishlashda davom etadi, lekin pastroq aniqlik bilan. Strukturaviy ishonchlilikni hisoblash uchun strukturaviy sxema bo'yicha davlat grafifi tuzildi. Bunga erishish uchun biz barcha elementlar turli xil ishonchlilik ko'rsatkichlariga ega deb hisobladik. Shundan so'ng, tizim



elementlari uchun nosozlik oqimining tabiati, nosozlikning og'irligi va tiklash intensivligi alohida aniqlandi. [13,14]. Shunga ko'ra, har bir elementni ma'lum bir vaqtda ishlaydigan yoki ishlaymaydigan holatda topish ehtimoli aniqlandi. Keyin differensial tenglamalar tizimi shakllantirildi. Ushbu tenglamalar tizimini echishdan tashqari, kerakli ishonchlilik ko'rsatkichlarini, masalan, statsionar tizimning mavjudlik koeffitsientini olish mumkin edi. Ortiqcha tizimning ishonchliligi $p_r(t)$ (ortiqcha tizim vaqt davomida muntazam ravishda ishlash ehtimoli t), bu erda tizim yuk rejimida mustaqil ravishda ishlaydigan elementlardan iborat bo'lib, quyidagi tenglama bilan baholanishi mumkin:

$$p_r(t) = 1 - \prod_{k=1}^n \left(\frac{\lambda_k}{\lambda_k + \mu_k} - \frac{\lambda_k}{\lambda_k + \mu_k} e^{-(\lambda_k + \mu_k)t} \right) \quad (1)$$

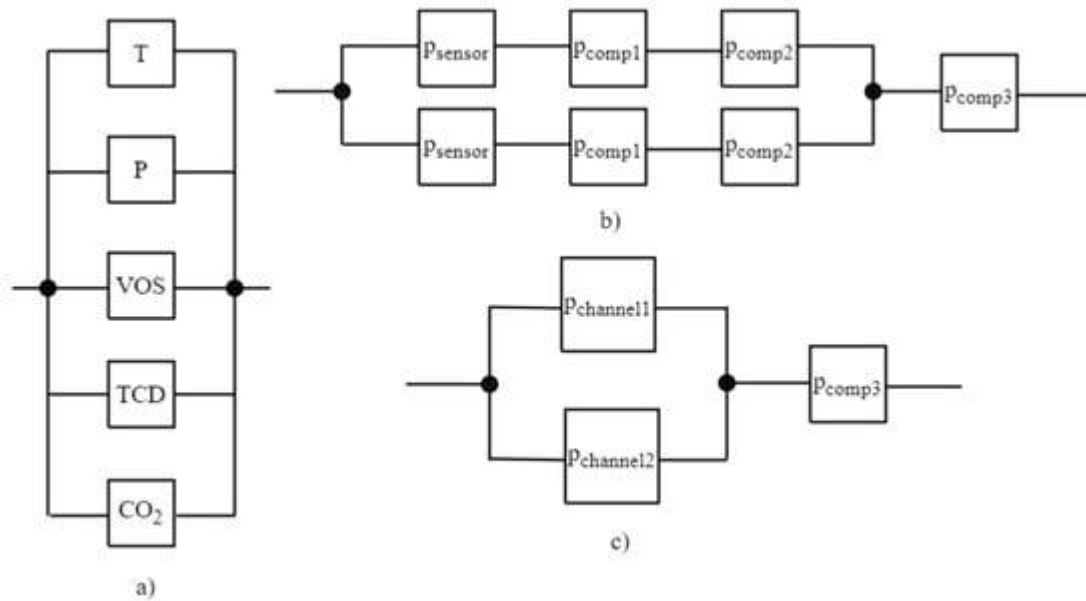
bunda k va k -chi elementning ishlaymay qolishi va tiklanish stavkalarini ifodalaydi. Shuning uchun ishonchlilik (muntazam ishlash ehtimoli) $p_{rm}(t)$ tizimning m ketma – ket bloklar bilan $(n-1)$ - umumiy holatda katlama ortiqcha (2) tenglama yordamida hisoblash mumkin [15]:

$$p_{rm}(t) = \prod_{i=1}^m \left(1 - \prod_{j=1}^n \left(\frac{\lambda_{ij}}{\lambda_{ij} + \mu_{ij}} - \frac{\lambda_{ij}}{\lambda_{ij} + \mu_{ij}} e^{-(\lambda_{ij} + \mu_{ij})t} \right) \right) \quad (2)$$

Strukturaviy ishonchlilik uchun raqamli natijalar. 1-rasmda ko'rsatilgan gazni tahlil qilish tizimining blok diagrammasi uchun ishonchlilik indeksi (statsionar mavjudlik koeffitsienti) hisoblab chiqilgan. Gazni tahlil qilish tizimlari uzoq vaqt (5 yildan ortiq) ishlaganligi sababli, yuqoridagi tenglamalardagi ikkinchi muddat chiqarib tashlandi va indeks soddalashtirilgan formulalar yordamida hisoblab chiqildi.

Keyinchalik, taklif qilingan usulni amalga oshirishni soddalashtirish va ishonchliligini hisoblash uchun 1-rasmda ko'rsatilgan sxema bir nechta oddiy sxemalarga bo'lingan (2-rasmga qarang).





2-rasm. Ishonchliligini hisoblash uchun qo'shimcha asboblarni, shu jumladan sxemani oddiyroq davrlarga ajratish.

Parallel ulangan sensorlarning muntazam ishlash ehtimoli p_{sensor} (2-rasm a) quyidagicha olingan:

$$P_{\text{sensor}} = 1 - \left(\frac{\lambda_T}{\lambda_T + \mu_T} \frac{\lambda_P}{\lambda_P + \mu_P} \frac{\lambda_{\text{VOS}}}{\lambda_{\text{VOS}} + \mu_{\text{VOS}}} \frac{\lambda_{\text{TCD}}}{\lambda_{\text{TCD}} + \mu_{\text{TCD}}} \frac{\lambda_{\text{CO}_2}}{\lambda_{\text{CO}_2} + \mu_{\text{CO}_2}} \right) \quad (3)$$

Bundan tashqari, to'plangan tizimi muntazam ishlashi ehtimoli, qayta ishlangan, va tahlil axborot (CPA), p_{comp} (2-rasm b), quyidagicha olingan:

$$P_{\text{comp}} = 1 - \frac{\lambda_{\text{comp}}}{\lambda_{\text{comp}} + \mu_{\text{comp}}} \quad (4)$$

Shuni ta'kidlash kerakki, CPA tizimi uchun muntazam ishlash ehtimoli $p_{\text{comp1}} = p_{\text{comp2}} = p_{\text{comp3}}$ ga teng edi. Formulani soddalashtirgandan va sxemani 2-rasmda ko'rsatilganiga aylantirgandan so'ng, bitta o'lchov kanali uchun p_{kanal1} muntazam ishlash ehtimoli quyidagi formula bo'yicha hisoblab chiqilgan:

$$P_{\text{channel1}} = P_{\text{sensor}} \times P_{\text{comp1}} \times P_{\text{comp2}} \quad (5)$$

Shuningdek, ikkita o'lchov kanalining muntazam ishlashi ehtimoli quyidagicha hisoblab chiqilgan:

$$P_{\text{channel}} = 1 - (1 - P_{\text{channel1}})^2 \quad (6)$$



Tizimning muntazam ishlashining yakuniy ehtimoli P_{final} (7) tenglamani qo'llash orqali hisoblab chiqilgan.

$$P_{\text{final}} = P_{\text{channel}} \times P_{\text{comp}_3} \quad (7)$$

Belgilangan shartlarga ko'ra, erkin ishlamay qolish ehtimoli 0,9992 ga teng edi. Ushbu qiymat taqdim etilgan model gazni tahlil qilish tizimlari uchun juda ishonchli ekanligini ko'rsatadi. To'g'ri, bu sxema umumiy jarayonlar uchun qo'llaniladi; ammo, bu bizga ma'lum gaz parametrlarini aniq o'lchashga imkon bermadi.

Bu erda asboblari quyi tizimi asosiy rol o'ynadi. Shuning uchun yangi ta'riflarni kiritish va keyin o'lchash asboblari tizimi uchun ishonchlilikka boshqacha yondashadigan yangi modelni yaratish kerak edi. Ushbu tadqiqotda o'rganilgan stsenariyda ishonchlilikni hisoblashning standart sxemasi kamchiliklarga ega bo'lib, uni hozirgi ish uchun yaroqsiz holga keltirdi.

(1)–(7) standart yondashuv va tenglamalarning asosiy kamchiligi shundaki, ba'zi elementlarning ishlamay qolganligini aniq aniqlash mumkin emas. Agar tizim belgilangan o'lchov aniqligini ta'minlay olmasa, bu aslida yashirin nosozlikdir. Boshqa tomondan, agar tashqi o'lchash moslamasi noto'g'ri ma'lumotlarni yuborsa, bu tizim qanday ishlashi nuqtai nazaridan hali ham nosozlik deb hisoblanadi. Bunday nosozlikning oqibatlarini juda muhimdir, chunki tizimning asosiy funksiyasi, ya'ni gaz energiyasining xususiyatlarini aniqlash amalga oshirilmaydi. Agar tizim qanday qilib ma'lumot to'plash, qayta ishlash va tahlil qila olmasligini aniq aniqlashning iloji bo'lmasa (kompyuterning ishlamay qolishi), unda buni o'lchash vositalari yordamida darhol aniqlash mumkin emas. Shunday qilib, agar o'lchov vositasi ishlamay qolsa, aniq tashqi nosozlik belgilarini olmaslik mumkin. Shunday qilib, bu hodisani kuzatish mumkin emas va uni faqat chiqish ma'lumotlari bilan baholash mumkin. Shuning uchun barcha o'lchash asboblari takrorlanadi. Agar o'lchash asboblari yuborilgan ma'lumotlar to'g'ri bo'lmasa, nosozlik sodir bo'lgan deb taxmin qilinadi.

3. Natijalar. Dastlabki ta'riflarga ko'ra ushbu tadqiqotda gaz aralashmasining har bir fizik parametrini tahlil qilish uchun ikkita o'lchash vositasi (MIs), ya'ni asosiy va zaxira asboblari kerak deb taxmin qilingan. Shuni ta'kidlash kerakki, asboblari bir-biridan mustaqil ravishda ishlaydi. Shu tarzda, o'lchov vositalari mustaqil ravishda ma'lumotni ikki xil kanal (ya'ni asosiy va zaxira kanallari)



orqali axborot yig'ish tizimiga va keyinchalik axborotni qayta ishlash tizimiga uzatdilar-bu ma'lumotlar birgalikda o'lchov kanalini (MC) tashkil etdi. Asosiy MIs asosiy MCga ma'lumot uzatdi. Ortiqcha MIs issiq rejimda ishlaydigan ortiqcha MCga ma'lumot uzatdi. Shunday qilib, tarqatilgan tizim $2n$ o'lchash gadjetlaridan (n asosiy va n zaxira qurilmalari) ma'lumotlarni to'pladi.

Tizimning asosiy vazifasi energiya xususiyatlarini aniqlash bo'lganligi sababli, agar u kerakli gaz xususiyatlarini farqlashda yuqori darajadagi aniqlikni ta'minlasa, biz tizimni ishonchli deb hisobladik. Binobarin, biz [14] da tasvirlangan sxema yordamida o'lchash kanali-kompyuter quyi tizimining ishonchliligini aniqladik. Barcha quyi tizimlar qaramliksiz ishlaganligi sababli ularning ishonchliligini mustaqil ravishda baholash mumkin edi.

Bu vaqtda, agar ikkala o'lchash asboblari, ya'ni asosiy va zaxira qurilmalari bir xil o'lchash nuqtasida bir zumda bir xil ko'rsatkichlarga ega bo'lsa, gaz aralashmasi parametrlarini o'lchash uchun quyi tizim muntazam ishlayotgan deb taxmin qilingan. Endi, agar ikkita qurilmadan o'qishlar ahamiyatsiz o'zgargan bo'lsa, o'lchov ishonchli deb hisoblangan. Boshqa tomondan, agar chiqish boshqa MI chiqishidan sezilarli darajada, ya'ni 10% dan ko'proq farq qilsa, nosozlik sodir bo'lgan deb taxmin qilingan. Boshqacha qilib aytganda, MI ishdan chiqdi. Quyida ushbu maqolada taklif qilingan modelning batafsil tavsifi keltirilgan. Avvalo, quyidagi ta'riflarni kiritish kerak. Shuningdek, o'lchov tizimining ishonchliligi tizimning ma'lum vaqt davomida belgilangan funktsiyalarni bajarish qobiliyati sifatida belgilandi.

Agar asosiy va zaxira o'lchash moslamasidan olingan qiymatlar (mutlaq qiymatda) ma'lum bir qiymatdan ko'proq farq qilsa, r_i ($r_i > 0$), biz i -chi gaz parametri uchun o'lchovni aniq deb hisoblaymiz. N parametrlarini aniqlash muhim bo'lgan hollarda, biz ijobiy qiymatlar vektorini belgilaymiz, $r = (r_1, \dots, r_N)$, $r_i > 0$ $r_i = 1, \dots, N$, ya'ni har bir o'lchash moslamasi uchun ruxsat etilgan qiymatlarning ma'lum bir diapazoni ($-i$) ko'rsatilgan.

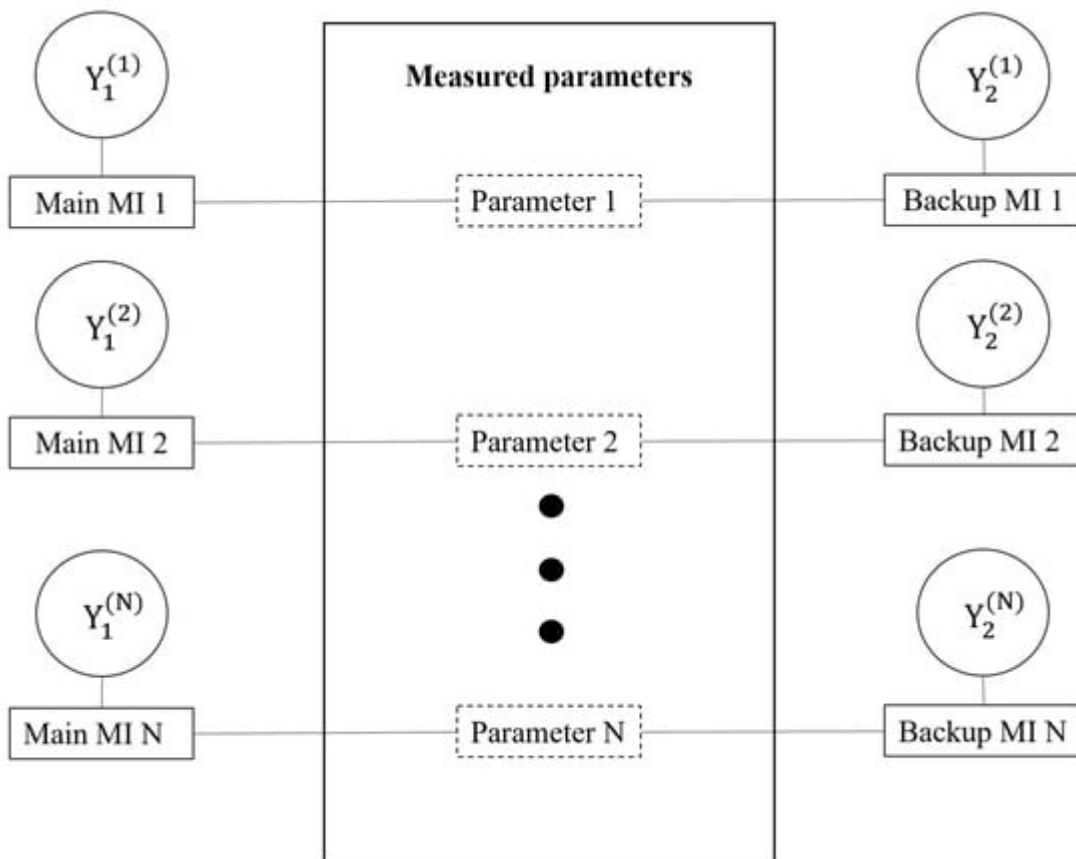
Agar aniqlik ko'rsatkichi ruxsat etilgan chegaralardan oshsa, tizim muvaffaqiyatsiz bo'ladi. Bundan tashqari, amalda har safar ma'lum bir muammo hal qilinganda, muvaffaqiyatsizlik tushunchasini aniqlashtirish kerak edi. Masalan, n komponentli aralashma uchun tizim ishlamay qoladi k MI quyi tizimlar tashqarida N chegaradan oshib ketdi, bu erda k 1 dan oraliqida N (ish sharoitlariga va boshqa omillarga qarab, masalan, moliyaviy omillar va mijozlarning ehtiyojlari). Agar $k = 1$ bo'lsa, MI quyi tizimiga maksimal qattiq ehtiyojlar qo'yildi, ya'ni kamida bitta gaz parametrini aniq o'lchash imkonsiz



bo'lsa, tizim muvaffaqiyatsiz tugadi. Uchun $k = N$, MI quyi tizimining muntazam ishlashi uchun kamida bitta gaz parametrini o'lchash etarli edi. Asosiy va zaxira MIs o'qishlari bir-biridan qay darajada og'ganligini aniqlaydigan tavsiya etilgan ishonchlilikni baholash texnikasining tabiati 3-rasmda va (8) tenglamada ko'rsatilgan.

$$\begin{aligned} |Y_1^{(1)} - Y_2^{(2)}| &= \xi_1 \\ &\dots \\ |Y_1^{(N)} - Y_2^{(N)}| &= \xi_N \end{aligned} \quad (8)$$

bu erda $Y_1^{(1)}$ asosiy MI ning i-o'lchovidir, $Y_2^{(2)}$ zaxira MI ning i-o'lchovidir va men i-o'lchov uchun og'ish qiymati.



3-rasm. Asosiy va zaxira o'lchash vositalarining o'lchangan qiymatlari o'rtasidagi farq orqali ishonchlilikni baholashning taklif qilingan usuli.

Gaz aralashmasining bitta parametrini o'lchash uchun tavsiya etilgan ishonchlilik modeli. Agar gaz aralashmasining faqat bitta parametri o'lchanadi degan taxmin bo'lsa, ko'rsatkichlar diskret vaqtlarda ikkita o'lchov vositasidan (asosiy va zaxira) olinadi. Bunday holda, agar o'lchash asboblari muntazam



rejimda ishlasa, asboblarning ko'rsatkichlari oldindan tanlangan diapazonda bo'ladi. Shuning uchun biz tasodifiy o'zgaruvchilarning diskret ketma-ketligiga ega bo'lardik: $\{x_i\}$, $i = 0, 1, 2, \dots$ bu o'zgaruvchilar o'lchov vositalarining o'qishlari orasidagi farq sifatida talqin qilindi.

Agar o'lchash asboblarning ko'rsatkichlari biroz boshqacha bo'lsa, biz ushbu seriyaning qiymatlari nol atrofida o'zgarishini kutdik. Shu bilan birga, agar mutlaq o'lchovlar olingan bo'lsa, kuzatuvlar bog'liq bo'lishi mumkin. Shu sababli, biz maxsus modulni va gazning haqiqiy tarkibidagi tebranishlar istiqbolini ko'rib chiqdik. Bu $\{x_i\}$, $i = 0, 1, 2, \dots$ xolis va bir xil ajratilgan tasodifiy o'zgaruvchilar ekanligini tasdiqlashimizga imkon berdi. Bundan tashqari, biz bir nechta o'lchov xatolarini ifodalash uchun x_i -ni ko'rib chiqdik. Demak, biz ketma-ketlik elementlari normal tasodifiy o'zgaruvchilar deb taxmin qildik: $x_i \sim N(0, r)$, $i = 0, 1, 2, \dots$ umumiylik etishmagan holda, biz ketma-ketlik elementlari, ya'ni ketma-ketlik elementlari $x_i^2 = 1$ tasodifiy miqdorning dispersiyasini kutdik. edi standart normal tasodifiy o'zgaruvchilar.

Taklif etilayotgan o'lchov asboblari haqida quyidagi gipotezani taqdim etamiz: o'lchovlar soni oshgani sayin (ish vaqti oshgani sayin) o'lchov asboblari ko'proq eskiradi va xato MIs ko'rsatkichlari orasidagi farq oshishini anglatadi; xato barqaror bo'lmagan tezlikda ortadi umumiy holat va stavka vaqt va tizimning holatiga bog'liq bo'ladi $m(i, X_i)$. Oxir-oqibat, biz tizimning xatti-harakatlarini diskret vaqtli stoxastik jarayon sifatida modellashtirdik, bu to'plangan xatolarni umumlashtirdi:

$$X_i = m(i, X_i)x_i + \sum_{k=0}^i \xi_k \quad (9)$$

Yuqoridagi tenglama, men $= 0, 1, 2, \dots$, $m(i, X_i)$ o'lchash qurilma eskirish bilan xato birikmasini kursi sifatida talqin qilinishi mumkin, va $m_{men} \sim n(0, 1)$. Umumiylikning etishmasligi holda, o'lchovlar doimiy ravishda olingan deb taxmin qilish mumkin, shunga ko'ra (9) jarayonning to'xtovsiz versiyasidan kelib chiqadi. Bunday holda, o'simlik modeli Braun harakatiga asoslangan edi [16]. Har qanday bunday model tasodifiy jarayonlar nazariyasining taniqli natijalari yordamida tekshirilishi mumkin.

$N = 1$ bo'lganda o'lchov quyi tizimining ishonchliligi. Biz to'xtovsiz vaqtdagi tasodifiy jarayonni ko'rib chiqdik $X(t)$ bu oson differentsial tenglama orqali aniqlanishi mumkin :

$$dX(t) = \mu[t, X(t)]dt + \sigma[t, X(t)]dW(t) \quad (10)$$



Bu usulni quyidagicha ham talqin qilish mumkin: xato (farq) 1d Braun harakati $X(t) = Vt(t)$ yoki rasmiy ravishda $dx(t) = dv(t)$ orqali modellashtirilishi mumkin. Umumlashtirgandan so'ng, biz $dx(t) = dx(t, x(t))dx(t)$ $dx(t, x(t))dx(t)$, bu erda koeffitsient umumiy holda muntazam ravishda olinadi; ammo, bu tizimning holatiga ham bog'liq bo'lishi mumkin. Shuning uchun bizning o'lchovlarimiz biroz tasodifiy deb taxmin qilingan; ya'ni asosiy o'lchash moslamasi zaxira qurilmasidan kattaroq qiymat ishlab chiqaradi yoki zaxira qurilmasi asosiy qurilmadan kattaroq qiymat ishlab chiqaradi, shuning uchun xato ko'payadi yoki kamayadi. Shuningdek, o'lchash moslamalarining metrologik xususiyatlari va ishonchlilik parametrlari vaqt o'tishi bilan kamayadi, shuning uchun xato o'rtacha ma'lum bir tezlikda o'sib boradi deb taxmin qilingan. Intuitiv darajada, X (xato o'zgarishi qiymati) tasodifiy yurish bilan modellashtirilgan; vaqt bosqichi nolga intilganda, $X(10)$ tenglama bilan tavsiflanadi. Biroq, biz bundan keyin ham ko'rib chiqdik $D > 0$ va $D = 0$ doimiylar sifatida:

$$dX(t) = \mu dt + \sigma dW(t) \quad (11)$$

Ushbu bosqichda biz har bir o'lchash asbobida ma'lum bir o'qish diapazoni $(-A, A)$, $a > 0$ bor deb taxmin qildik; bu interval tizimning muntazam ishlashini aniqladi [13]. Agar tizim intervaldan tashqariga chiqsa, nosozlik holati qayd etilgan.

Tushunchalar:

- Agar tizim $x(t)$ bo'lsa, tizim muntazam ishlaydi $(-a, a)$.
- Agar $X(t)$, agar $x(t)$, agar $x(t)$, agar $x(t)$, agar $x(t)$ yoki $x(t)$ bo'lsa, tizim bajarilmasa.
- MTBF x a etib birinchi nuqtasi hisoblanadi: $|x(t)| = a$, (a qat'iy ijobiy uchun, ehtimollik $P\{X(t) = a\} a = \inf\{t \mid D = D = 0\}$).
- Tizimning ishonchliligi funksiyasi(odatda) $R(t) = P(r > t)$ sifatida ifodalanadi.
- Tizimning ishlash vaqtini taqsimlash funksiyasi(odatda) $F(t) = 1 - R(t) = P(r \leq t)$ sifatida olinadi.
- (Umumiy holatda) tenglama bilan tavsiflangan tizim uchun (11), biz muvaffaqiyatsizliklar orasidagi o'rtacha vaqtni (MTTF) quyidagicha baholaymiz E . (eng oddiy holatda, biz vaqtni tahlil qilish orqali aniq topamiz).



O'lchangan parametrlarning har biri uchun sun'iy intellektning chegara qiymatlarini tanlash uchun gazning fizik parametrlarini qanday aniqlash kerakligini belgilash eng muhim edi. Ko'pgina standartlar kerakli parametrlarni aniqlashda past xato darajasini belgilaydi. Shunday qilib, biz MI ning maksimal mutlaq xatosi qiymatlarini o'lchov vositalarining o'qishidagi farqlar ruxsat etilgan qiymatlardan oshmaydigan chegara qiymatiga olib kelishimiz kerak edi. Ushbu qiymatlar uchun eksperimental o'lchovlar uchun ishlatiladigan MI o'lchovlarining takrorlanuvchanlik qiymatidan foydalanish taklif qilindi.

4. Muhokama. Joriy qog'ozda taklif qilingan modelning xususiyatlaridan biri shundaki, agar o'lchash moslamasi ishlamay qolsa, tizim hali ham ishlagan, ammo pastroq aniqlik bilan. Ushbu maqsadga erishish uchun o'lchash moslamalari parallel ravishda ulangan. Parallel quyi tizimning tarkibiy ishonchliligi sifatida ishonchlilikni hisoblash noto'g'ri bo'lar edi, chunki Agar $N - 1$ quyi tizimi bu holda ishlamay qolsa, tizim ishlashni davom ettiradi. Biroq, faqat bitta gaz parametrini aniqlash mumkin edi. Shuning uchun, individual o'lchov vositalarining ishdan chiqishi hisob-kitoblarning aniqligiga qanday ta'sir qilishini aniqlash uchun "k n dan tashqarida" (k) ishonchlilik modeli to'g'ri edi. Bundan tashqari, hamma joyda $N = 5$ qabul qilingan va tizim qanday ishlashi uchun quyidagi mezonlar ko'rib chiqilgan:

1-mezon.

Agar aniqlik ko'rsatkichlari barcha parametrlar uchun ma'lum bir chegaraga kamaysa, tizim ishlamay qoladi.

2-mezon.

Agar kamida bitta parametrning aniqligi kamaytirilsa, tizim muvaffaqiyatsiz bo'ladi.

3-mezon.

Agar aniqlik ko'rsatkichlari kamaysa k ($k < 5$) parametrlar, tizim muvaffaqiyatsiz bo'ladi.

Ushbu bosqichda tizimning ishlashining birinchi mezoni ko'rib chiqildi. Birinchi mezon uchun tizimning ishlash vaqtini taqsimlash funktsiyasi $F_1(t)$ sifatida belgilanadi.



1-teorema.

Quyidagi tizimning ishlash vaqtini taqsimlash funksiyasi $F_1(t)$ 1-mezon uchun quyidagi tenglama bilan hisoblanadi:

$$F_1(t) = \prod_{i=1}^5 (1 - \Phi(\frac{A_i - \mu_i t}{\sigma \sqrt{t}}) + e^{\frac{-2\mu_i A_i}{\sigma^2}} \Phi(\frac{-A_i - \mu_i t}{\sigma \sqrt{t}})) \quad (12)$$

Isbot sifatida taxmin qilish uchun har bir parametr ($m = 1, 2, 3, 4, 5$) bu gaz tarkibi, xato o'zgarish model amaliy va parametrlari $Bir_{men}, \mu_{men}, \sigma$ berilgan. Keling, kesishish ehtimoli uchun quyidagi taniqli formuladan foydalanaylik, bu erda Ven jarayoni $V(t)$ chiziqli chegarani kesib o'tadi a yuqorida aytib o'tilganlar uchun va yuqorida aytib o'tilganlar uchun:

$$P\{\sup_{0 \leq s \leq t} W(t) \geq A\} \approx 1 - \Phi(\frac{a - \mu t}{\sigma \sqrt{t}}) + e^{\frac{-2\mu a}{\sigma^2}} \Phi(\frac{-a - \mu t}{\sigma \sqrt{t}}) \quad (13)$$

bu erda standart normal qonun uchun taqsimot funksiyasi hisoblanadi.

(13) tenglama yordamida (12) tenglamani quyidagicha qayta yozish mumkin:

$$F_1(t) = \prod_{i=1}^5 (1 - \Phi(\frac{A_i - \mu_i t}{\sigma \sqrt{t}}) + e^{\frac{-2\mu_i A_i}{\sigma^2}} \Phi(\frac{-A_i - \mu_i t}{\sigma \sqrt{t}})) \quad (14)$$

1-natija.

1-teorema natijasida ishonchlilik funksiyasi va 1-mezon bilan bog'liq muvaffaqiyatsizlik uchun o'rtacha vaqt quyidagicha:

$$R_1(t) = 1 - F_1(t) \quad (15)$$

$$MTTF_1 = \int_0^{\infty} R_1(t) dt \quad (16)$$

2-natija.

Quyidagi tizimning ishlash vaqtini taqsimlash funksiyasi $F_2(t)$, ishonchlilik funksiyasi va 2-mezon bilan bog'liq o'rtacha ishlamay qolish vaqti



$$F_2(t) = \prod_{i=1}^n (1 - \Phi(\frac{A_i - \mu_i t}{\sigma \sqrt{t}}) + e^{\frac{-2\mu_i A_i}{\sigma^2}} \Phi(\frac{-A_i - \mu_i t}{\sigma \sqrt{t}})) \quad (17)$$

$$R_2(t) = 1 - F_2(t) \quad (18)$$

$$MTTF_2 = \int_0^{\infty} R_2(t) dt \quad (19)$$

2-teorema.

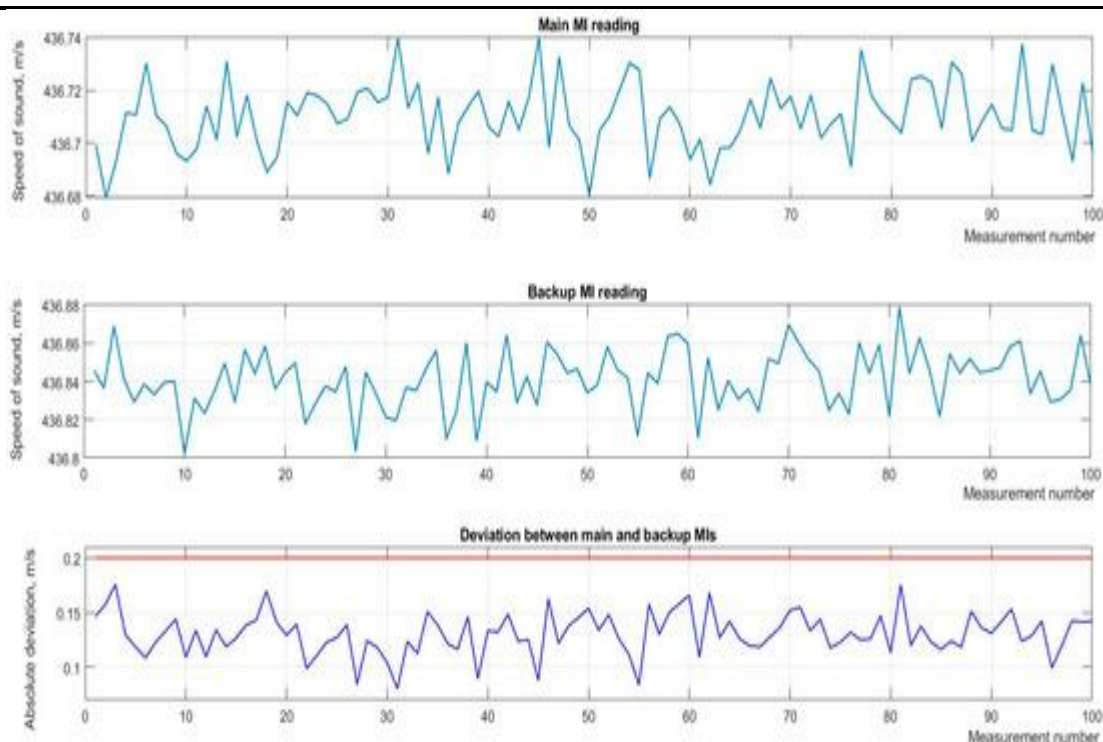
Quyida tizimning ishlash vaqtining taqsimlash funksiyasi $F_3(t)$ 3 mezonni hisobga olgan holda quyidagicha hisoblanadi:

$$F_3(t) = \prod_{i=1}^5 (1 - \Phi(\frac{A_i - \mu_i t}{\sigma \sqrt{t}}) + e^{\frac{-2\mu_i A_i}{\sigma^2}} \Phi(\frac{-A_i - \mu_i t}{\sigma \sqrt{t}})) \quad (20)$$

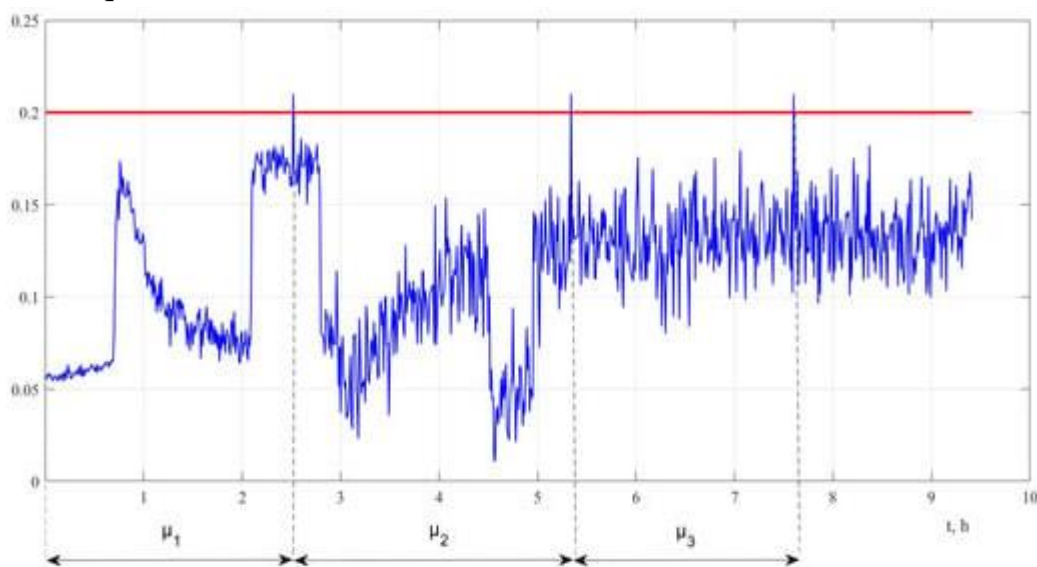


Ushbu formulalardan kelib chiqqan holda, yuqori ishonchlikni ta'minlashning kaliti o'lchash asboblari quyida tizimning ishlash vaqtini oshirish edi. Shuning uchun yuqori ishonchli ko'rsatkichlarga ega bo'lgan birlamchi konvertorlardan foydalanish maqsadga muvofiq deb topildi. Konvertorlar kerakli o'lchov ma'lumotlarini taqdim etishdi. Ushbu ma'lumotlar kerakli parametrlarni aniq baholash uchun ishlatilgan. Ishonchlik va aniqlikning kerakli ko'rsatkichlarini taqdim etmagan taqdirda, yanada ishonchli va aniq ko'rsatkichlarga ega bo'lgan qimmatroq konvertorlardan foydalanish taklif qilindi.

4-rasmda ovoz tezligi parametri uchun asosiy va zaxira asboblarning o'lchov natijalari taqqoslanadi. Tadqiqotga asoslanib, o'lchov ma'lumotlari ishonchli degan xulosaga kelish mumkin. Shunday qilib, biz ushbu faktdan avtomatlashtirilgan tizimni eksperimental ravishda sinab ko'rish uchun foydalandik.

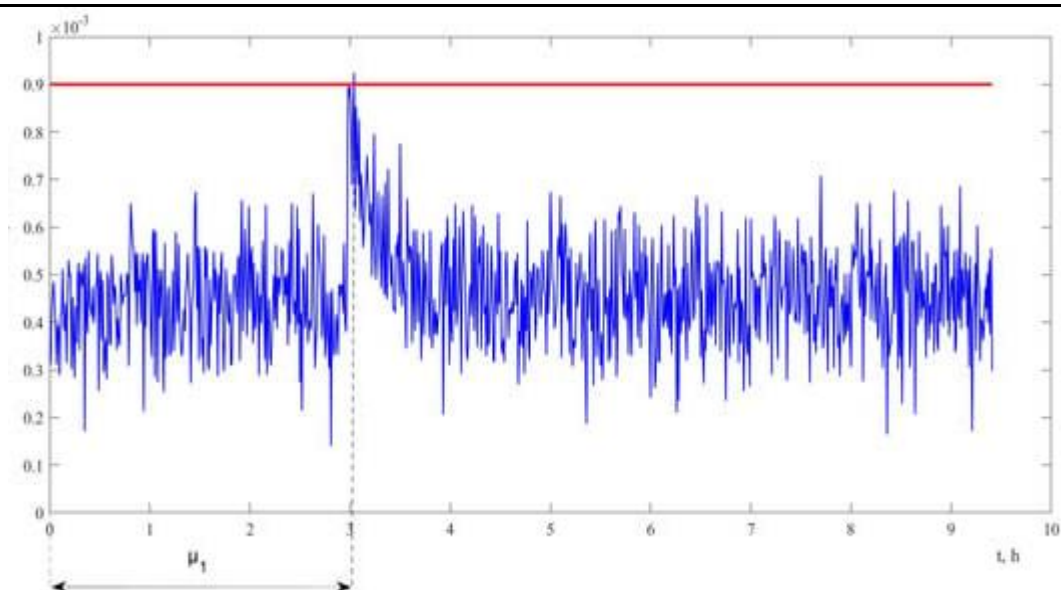


4-rasm. Asosiy va zaxira o'lchash asboblari (MIs) o'lchovlarini taqqoslash. Ko'rsatkichlarning sonli qiymatlarini hisoblash va ishonchlik funksiyalarini tuzish uchun haqiqiy gaz aralashmasining parametrlari o'lchandi. Shu maqsadda o'lchov vositasi quyi tizimining ish vaqtini taqsimlash funksiyasi (14) tenglama yordamida hisoblab chiqilgan. Asosiy va zaxira asboblarning o'lchovlari o'rtasidagi farq sifatida asosiy va zaxira asboblarning o'lchovlari o'rtasidagi farq sifatida aniqlandi (5-rasm va 6-rasm).



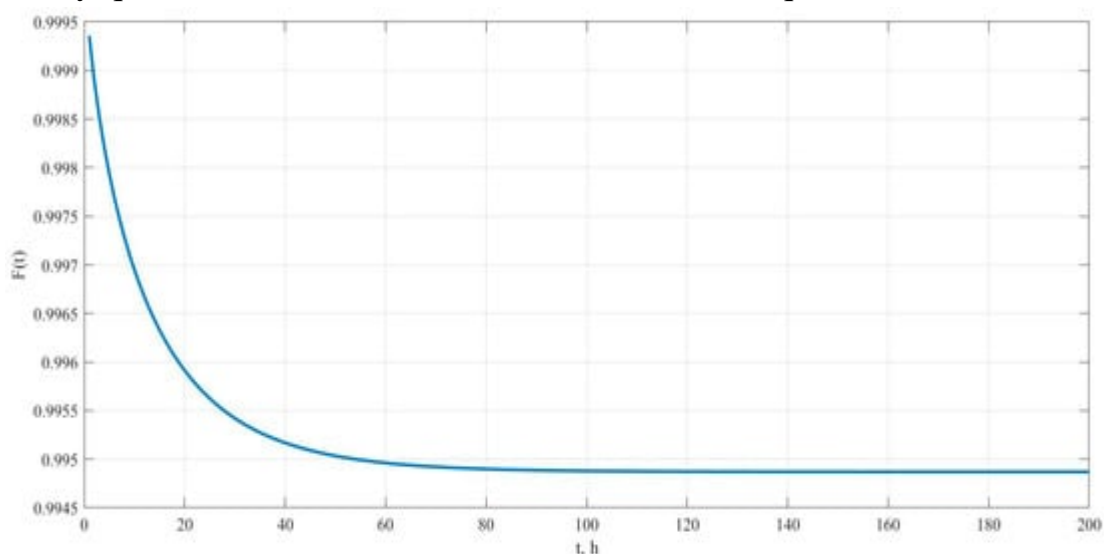
5-rasm. Asosiy va zaxira o'lchash asboblarning tovush tezligi o'lchovlarini taqqoslash.





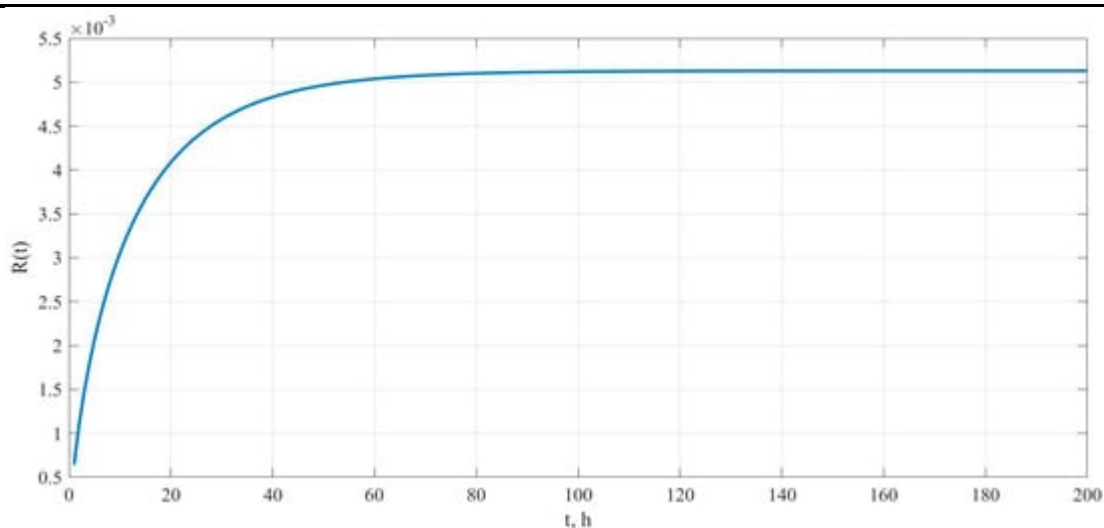
6-rasm. Asosiy va zaxira o'lchash asboblarning issiqlik o'tkazuvchanlik o'lchovlarini taqqoslash.

4-rasm, 5-rasm va 6-rasmdagi qizil chiziq tegishli parametrlarni o'lchash uchun chegara qiymatlarini ko'rsatadi. Bundan tashqari, ko'k chiziq tegishli parametrlarning o'lchovlarini (i.e., ovoz tezligi va issiqlik o'tkazuvchanligi) ko'rsatadi. Eksperimental ma'lumotlarning butun to'plami uchun bir xil deb hisoblangan. Bundan tashqari, MI quyi tizimi ish vaqti f tarqatish funksiyasi (T) (7-rasm), ishonchligi funksiyasi $R(T)$ (8-rasm), va qobiliyatsiz uchun o'rtacha vaqt tenglamalar asosida aniqlandi (14)–(16). Shuningdek, tizimning erkin ishlamay qolish ehtimoli turli holatlar uchun ko'rib chiqildi.



7-rasm. MI quyi tizimining ish vaqtini taqsimlash funksiyasi va taklif qilingan usul asosida vaqt.





8-rasm. MI quyi tizimining ishonchliligi funksiyasi va taklif qilingan usul asosida vaqt.

5. Xulosalar. Ushbu tadqiqotda mualliflar axborot hisoblash tizimining ishonchliligini baholash usulini o'rganishdi. Shu munosabat bilan, ish vaqtini taqsimlash tartibini, ishonchlilik funksiyasini va ishlaymay qolish uchun o'rtacha vaqtni belgilash uchun ehtimollik usuli ishlatilgan. Taklif etilayotgan tizimning tuzilgan blok diagrammasi uchun kerakli funksiyalar va ishonchlilik ko'rsatkichlarini, xususan, ish vaqtining taqsimlanish tartibini, ishonchlilik funksiyasini va ishlaymay qolishning o'rtacha vaqtini ajratish uchun asosiy formulalar olingan. Parametrlar soniga qarab tizimning ishlaymay qolishining turli mezonlari bo'yicha baholash o'tkazildi va ko'rsatkichlarning aniqligi pasayganligi kuzatildi. Har bir mezon uchun kerakli ishonchlilik funksiyalari uchun formulalar olingan. Shuningdek, taklif qilingan usul mavjud usullardan bir nechta mustaqil o'lchov kanallaridan (asosiy va zaxira) foydalanganligi bilan ajralib turishi ko'rsatildi, bu esa olingan o'lchov ma'lumotlarini asosiy va zaxira o'lchov vositalarining o'lchov natijalariga nisbatan yanada ishonchli qildi. Keyingi tadqiqotlar zamonaviy tizimlar uchun ishonchlilikni baholashga turli xil bilim sohalari nuqtai nazaridan yondashuvlarni o'rganishga bag'ishlanadi. Muhokama qilingan muammolarni hal qilish uchun mavjud usullardan foydalanildi. Ta'riflangan usul bir nechta kamchiliklarga ega edi. Ushbu usul katta miqdordagi eksperimental ma'lumotlarda sinovdan o'tkazilmagan. Usulni takomillashtirishning eng yaxshi usuli eksperimental ma'lumotlar miqdorini oshirish bo'ladi. Ushbu usul klassi sanoatda keng qo'llanilmaydi va uni haqiqiy dasturda amalga oshirish qiyin bo'ladi. Keyingi



tadqiqotlar avtomatlashtirilgan axborot tizimining prototipini ishlab chiqish, tabiiy gazning sifat ko'rsatkichlarini aniqlash uchun uni tasdiqlash va taklif qilingan usul yordamida uning ishonchliligini o'rganishni o'z ichiga oladi. . Nihoyat, olingan qiymatlar va gazni tahlil qilish tizimlarining ishonchliligini baholash muhokama qilindi. Bundan tashqari, mavjud usullarga nisbatan yangi usuldan foydalanishning asosiy afzalliklari sanab o'tildi. Bundan tashqari, standart tarkibiy ishonchlilikni baholash o'rniga, o'lchovlarning aniqligi asosida ishonchlilikni ehtimoliy baholash taklif qilindi.

Foydalanilgan adabiyotlar:

1. Reza Kashyzoda, K.; Marusin, A. V. haydovchilarning yonilg'i quyish odatlari ta'siri ostida IV turdagi kompozit CNG silindrining xizmat muddatini bashorat qilish-raqamli tadqiqot. *Polimerlar* 2023, 15, 2480.
2. M. Farhadov, S. Vaskovskiy, I. Brokayev, S. Ghorbani, K.R Kakshyzadeh Analitik axborot tizimining tarkibiy ishonchliligidan foydalangan holda tabiiy gaz sifatini tahlil qilish. *MDPI.Mathematics* , 2023, 17 11,3228
3. Nuriy, M.; Ashenai-Ghasemi, F.; Rahimi-Sherbaf, G.; Kashyzoda, K. R. o'zgaruvchan devor qalinligi va polimer astarini hisobga olgan holda halqa bilan o'ralgan CNG kompozit silindrining statik ishlashini eksperimental va raqamli o'rganish. *Mech. Compos. Mater.* 2020, 56, 339–352.
4. Reza Kashyzoda, K.; Marusin, A. V. haydovchilarning yonilg'i quyish odatlari ta'siri ostida IV turdagi kompozit CNG silindrining xizmat muddatini bashorat qilish-raqamli tadqiqot. *Polimerlar* 2023, 15, 2480.
5. Brokarev, I. A.; Vaskovskiy, S. V. tabiiy gaz tarkibini tahlil qilish uchun tarqatilgan ma'lumotlarni yig'ish tizimi. *Adv. Syst. Sci. Appl.* 2019, 19, 14–24.
6. Brokarev, I. A.; Vaskovskiy, S. V. tabiiy gaz sifatini tahlil qilishda kirish parametrlarini ko'p mezonli baholash. *Adv. Syst. Sci. Appl.* 2020, 20, 60–69.
7. GOST (Davlat standarti) 27.002–89; texnologiyada ishonchlilik. Asosiy atamalar va ta'riflar. *Standardinform nashriyotchi: Jeneva, Shveysariya, 1990; p. 40. (Rus Tilida)*
8. Lavrisheva, E. M.; Pakulin, N. V.; Rijov, A. G.; Zelenov, S. V. tizimlar va vositalarning ishonchliligini baholash usullarini qanday tahlil qilish kerak. *Ish. ISP RAS* 2018, 30, 99-120.



9. Konesev, S. G.; Xasieva, R. T. murakkab tizimlarning ishonchliligini baholash usullari. *Mod. Probl. Sci. Tarbiyaviy.* 2015, 1, 2–3.
10. Osipov, L. V.; Petrov, V. V. Markaziy chegara teoremasidagi qoldiqni qanday taxmin qilish haqida. *Probab. Uning Appl.* 1967, 12, 322–329. [
11. Kalimulina, E. Y. tizimning ishonchliligini boshqarish, bog'liq nosozliklar va o'zboshimchalik bilan ta'mirlash vaqtlari bilan tahlil qilish. *Int. J. Syst. Assur. Eng.* 2017, 8, 1–9.
12. Kalimulina, E. Y. tarmoq tizimlarining ishonchliligini rejalashtirish uchun yangi yondashuv. *Int. J. Syst. Assur. Eng.* 2013, 4, 215–222.
13. Kalimulina, E. Y. murakkab tarmoq platformalarining ishonchliligini nazorat qilish va Monitoring qilish tizimini matematik modellashtirish. Aqlli tizimlar dizayni va ilovalarida: aqlli tizimlar dizayni va ilovalari bo'yicha 18-xalqaro konferentsiya (ISDA 2018), Vellore, Hindiston, 6-8 dekabr 2018; Springer: Cham, Shveysariya, 2018; 2-jild, 230-237 betlar.
14. Ishonchlilik maqsadlarini qondirish uchun Zangl, H. Sensor tizimini optimallashtirish. *Mikroelektron. Reliab.* 2018, 87, 1–37.
15. Kalimulina, E. Y. dinamik marshrutlash bilan ishonchsiz ochiq navbat tarmog'ini tahlil qilish. Tarqatilgan kompyuter va aloqa tarmoqlari bo'yicha xalqaro konferentsiya materiallarida, Moskva, Rossiya, 25-29 sentyabr 2017; 700 jild, 355-367 betlar.
16. Andreev, A. V.; Yakovlev, V. V.; Korotraya, T. Y. texnik ishonchlilikning nazariy asoslari; Politexnika universiteti nashriyotchi: Tomsk, Rossiya, 2018; p. 164. (Rus Tilida)

