

PARALEL QAZ KƏMƏRLƏRİ SİSTEMİNİN QƏZA REJİMLƏRİNİN İDARDƏ OLUNMASIDA QABAQCIL MÜHƏNDİSLİK YANAŞMALARIN TƏTBİQ MƏQSƏDİLƏ REKONSTRUKSIYASI

Əliyev İlqar Qiyas oğlu- t.ü.f.d., dosent, Bina və qurğuların istismarı və rekonstruksiyası kafedrası, AzMİU, i_q_aliyev@mail.ru

Xülasə. Mövcud paralel qaz boru kəmərlərin qeyri-stasionar rejiminin istismar proseslərini idarəetmə sistemləri səmərəsiz və texniki cəhətdən çətinidir. Bundan əlavə, fiziki aşınmış və müasir idarəetmə texnologiyalarının tələblərinə cavab verməyən köhnəlmiş elementləri kifayət qədər sürətli reaksiya vermirlər və problemi ətraf mühitə çox miqdarda qaz itirdikdən sonra bildirirlər. Bu məqsədlə mövcud qaz kəməri sistemlərinin rekonstruksiya mərhələsində mənfi nəticələrin aradan qaldırılması məqsədilə müasir idarəetmə metodlarını qəbul edən yeni texnoloji sxemlərin işlənilməsi çox vacibdir. Bu işdə paralel qaz kəmərlərinin qeyri-stasionar qaz axınının riyazi modelinin təhlilinin həyata keçirilməsi nəticəsində texnoloji proseslərə nəzarət və idarəetmə məntəqəsinin informasiya bazası üçün maşın öyrənməsi texnologiyasına əsaslanan alqoritm təyin olunmuşdur. Təyin olunmuş alqoritm boru kəmərlərində texniki istismarının proqnozlaşdırılması və qəza hallarının idarə edilməsi məqsədilə mühəndis texnologiyaları məsələlərinin həlli üçün tövsiyə oluna bilər.

Açar sözlər. Təzyiq sensoru, ayırıcı cihazlar, klapan, əlaqələndirici boru, texnoloji sxem, alqoritm

RECONSTRUCTION OF PARALLEL GAS PIPELINE SYSTEMS IN ORDER TO APPLY ADVANCED ENGINEERING APPROACHES TO CONTROL EMERGENCY MODES

Aliyev Ilgar Giyas- PhD in tech.sc., ass.prof., department of Operation and reconstruction of buildings and facilities, AzUAC, i_q_aliyev@mail.ru

Abstract. The management systems for the operational processes of existing parallel gas pipelines under non-stationary conditions are inefficient and technically complex. Additionally, the outdated elements, which are physically worn and do not meet the requirements of modern control technologies, fail to react quickly enough and only report problems after a significant amount of gas is lost to the environment. For this reason, it is crucial to develop new technological schemes that adopt modern control methods in the reconstruction phase of existing pipeline systems in order to eliminate negative outcomes. In this work, based on the analysis of the mathematical model of non-stationary gas flow in parallel gas pipelines, an algorithm based on machine learning technology was developed for the information database of the control and management point of technological processes. The developed algorithm can be recommended for solving engineering technology problems related to the prediction of technical maintenance and management of emergency situations in pipelines.

Keywords: Pressure sensor, separating devices, valve, connecting pipe, technological scheme, algorithm

Giriş. Qəza rejimlərin idarəetmə sistemlərinin təkmilləşdirilməsi istiqamətində paralel qaz kəməri sisteminin istismar etibarlılığını artırmaq üçün mövcud köhnəlmiş elementlərin daha müasir elementlərlə əvəz olunması vacib məsələlərdən biridir. Belə ki, qaz paylama şəbəkələrinin işini modelləşdirərkən həmin elementləri və ayırma cihazlarını (kranları) paralel qaz boru şəbəkələrinə elə yerləşdirmək lazımdır ki, qəza hallar zamanı qaz sızmaları nəticəsində ətraf mühitə dəyən zərərin və eləcə də qaz veriminin sərfinin azalması səbəbindən istehlakçılara dəyən zərərin minimuma endirilməsini təmin etmək mümkün olsun. Onu da qeyd etmək lazımdır ki, rekonstruksiyanın texniki-iqtisadi səmərəliyi üçün əlavə quraşdırılması nəzərdə tutulan ayırma kranları və elementləri paralel

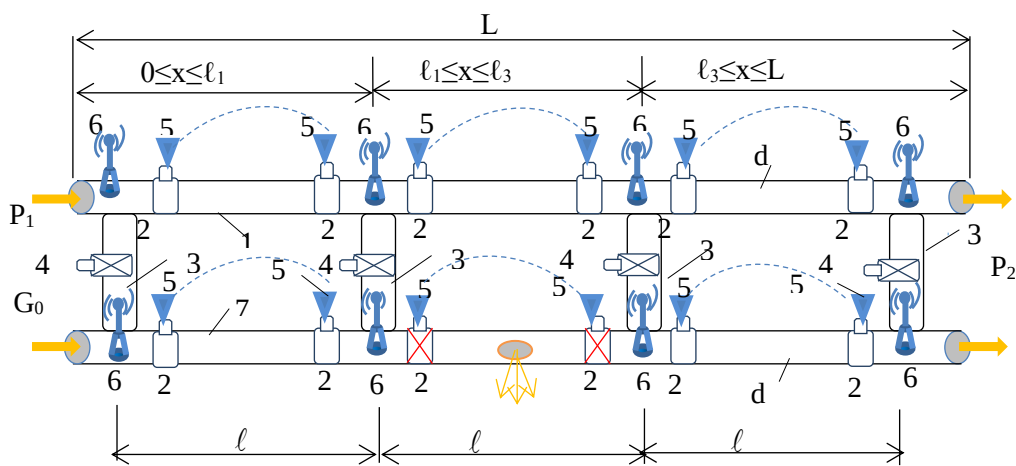
boru şəbəkəsinin strukturuna quraşdırılması zamanı onların tikinti-quraşdırma və istismar xərclərini nəzərə almaq lazımdır.

Rekonstruksiya şəraitində ayırma cihazların (kranların) və elementlərin rəşional yerləşdirilməsi üçün qaz paylama sistemlərinin ilikin parametrləri ilə yanaşı istehlakçı müəssisələrin katiqoriyalarının müəyyən edilməsi tələb olunur [13]. Bu halda idarəetmə metodunu seçmək mərhələsində paralel qaz şəbəkənin etibarlı və təhlükəsiz istismara verilməsi üçün daha optimal və rəşional üsul seçmək problemini həll etmək lazımdır [11,22,26]. Paralel qaz kəmərləri sistemlərin istismarı və rekonstruksiyası zamanı idarəetmə qərarlərinin qəbulu müxtəlif texniki və iqtisadi problemlər yaradır. Belə ki, bir çox hallarda onlara avtomatlaşdırılmış nəzarət sistemi tətbiq olunmadan həmin problemləri həll etmək mümkün olmur. Bu məqsədlə tədqiq olunan işdə paralel qaz kəmərinin xətti hissəsinin qeyri-stasionar iş rejimlərinin monitorinqi və idarə edilməsi üçün metodlar və riyazi modellər təklif olunur. Həmin modellər paralel qaz kəmərinin istənilən hissəsinin bütövlüyünün pozulması nəticəsində yaranan texnoloji proseslərin dinamik xüsusiyyətlərini təhlil etməyə və hesablamaya imkan verən təzyiq funksiyalarına əsaslanır.

Materiallar və metodologiyası. Bu işin metodoloji əsası paralel qaz kəmərlərin rekonstruksiyasında qeyri-stasionar qaz nəqlinin texnoloji prosesinin avtomatlaşdırılmış idarəetmə sistemlərinin təkmilləşdirilməsi üçün texnoloji sxemlərin və alqoritmlərin yaradılmasıdır. Buda, qaz nəqli sistemlərinin səmərəliliyinin, etibarlılığının və təhlükəsizliyinin artırılması kimi mühüm problemləri lazım olan səviyyədə həll edə bilər.

Beləliklə, mövcud paralel qaz kəmərlərinin rekonstruksiyası üçün müasir ayırıcı cihazlar və elementlərdən istifadə edərək qeyri-stasionar qaz axınlarının etibarlı idarə edilməsi məqsədilə aşağıdakı struktur sxemi təklif olunur (Şəkil. 1).

Paralel boru kəmərlərində qəza şəraitində qaz axın selinin bir boru düzümdən digər boru düzümə ötürülməsi məqsədilə quraşdırılan əlaqələndirici bornun diametrini qaz kəmərinin borusunun diametrinə bərabər qəbul edilmişdir. Eyni zamanda qaz kəməri istismara verilən andan onun ilkin parametrlərin (P_1 , P_2 , G_0 , L , d) qiymətləri ilə yanaşı əlaqələndirici borular arasındakı məsafənin ölçüsü (ℓ) qaz kəmərinin texniki pasportunda qeyd olunur.



Şəkil 1. Paralel qaz kəmərlərinin rekonstruksiya mərhələsində təklif olunan struktur sxemi.

1-zədələnməmiş boru xətti; 2- boru xəttin ayırıcı kranları; 3- paralel boru düzümləri əlaqələndirən boru xətti (əlaqələndirici borular); 4- əlaqələndirici boruların ayırıcı kranları; 5- klapanların vəziyyətinə nəzarət sensoru; 6- simsiz təzyiq sensoru; 7- zədələnməmiş boru xətti.

L -qaz kəmərinin uzunluğu, m; P_1 - stasionar rejimdə qaz kəmərinin başlanğıc təzyiqi, Pa; P_2 - stasionar rejimdə qaz kəmərinin son hissəsində təzyiqi, Pa; G_0 - qaz kəmərinin başlanğıcında kütlə səfi, $\frac{Pa \times san}{m}$; d -boru kəmərinin diametri, m; ℓ - əlaqələndirici borular arasındakı məsafə, m.

Şəkil 1-ə əsasən paralel qaz kəmərinə avtomatik bağlayıcı kranların quraşdırılması aşağıdakı kimi nəzərdə tutulur. Qaz kəmərinin başlanğıc hissəsində olan əlaqələndirici borudan sonra və son hissəsində olan əlaqələndirici borudan əvvəl quraşdırılması nəzərdə tutulur. Paralel qaz kəmərinin digər hissəsində olan əlaqələndirici boruların həm sağında həm də solunda boru şəbəkəsinin hər birinə avtomatik bağlalan kranın quraşdırılması nəzərdə tutulur.

Qəza rejimlərində qaz kəmərlərin səmərəli idarəedilməsi üçün kranların avtomat olaraq işə salınması naturada öz tətbiqini tapmışdı. Əvvəllər qaz kəmərinə qaz təzyiqinin düşmə sürətinə əsasən kalibrlənən klapanlar qəza rejimlərində təzyiqin düşmə sürəti 0,1 MPa/dəq-dən çox olduğu halda hər bir kranı ayrılıqda avtomatik olaraq işə salırdı [8]. Son zamanlarda isə klapanlarının vəziyyətinə nəzarət sensorların tətbiqi nəticəsində kranların avtomatik olaraq işə salması texnologiyası naturada uğurla sınaqdan keçirilib və öz təsdiqini tapmışdır [12].

Bizim təklif etdiyimiz sxemin əsas üstünlüyü ondan ibarətdir ki, qaz sızması baş verdikdə klapanların kalibrlənməsi (köklənməsi) təkcə təzyiqin düşmə sürətinə görə yox, həm də klapanların vəziyyətinə nəzarət sensorunun işə düşməsinə əsaslanır. Bu da qəza rejimlərində kranların işləmə etibarlılığını yüksəldir. Belə ki, paralel qaz kəməri borulardan birinin bütövlüyü pozulduğu halda sızma yerinə ən yaxın olan kranın klapanı təzyiq düşmə sürətinin kalibrlənmə qiymətində (təzyiq düşmə sürəti dəqiqədə 0,2-0,5 MPa -a çatır [5]) bağlanır. Həmin bağlanan kranın klapanının vəziyyətinə nəzarət edən sensor avtomatik olaraq işə düşür və sızma nöqtəsinin digər tərəfində olan kranın klapanına nəzarət edən sensoru da işə salır. İşə salınan sensor nəzarət etdiyi klapanı işə salaraq avtomatik olaraq kranı bağlayır. Beləliklə, həm təzyiq düşmə sürətinin məhdud qiymətinə və həm də klapan sensorların işə düşməsinə görə kalibrlənən klapanlar sızma yerinin sağ və sol hissələrəndəki kranları eyni vaxtda avtomatik olaraq işə salaraq bağlayır. Şəkil 1-dən göründüyü kimi qaz nəql etdirici paralel boru kəmərinə quraşdırılan avtomat kranların klapanlarının hər biri onların vəziyyətinə nəzarət sensorları ilə təchiz olunur. Əlaqələndirici boruların addımları aralığında olan boru düzümlərinə quraşdırılmış avtomat kranın klapanlarına nəzarət sensorları əşyaların internet şlyuzun texniki əməliyyat imkanları vasitəsilə bir-birinə bağlanırlar. Bu yolla klapanlara nəzarət sensorunun birinin işə düşməsi ona bağlı olan sensoru avtomatik olaraq işə sala bilər. Paralel qaz kəmərinin əlaqələndirici borularına quraşdırılmış pnevmatik kranların uzaqdan idarəetmə sistemi ilə işə salınması üçün isə simsiz təzyiq sensorları nəzərdə tutulur [3,14]. Şəkil 1-dən göründüyü kimi, təzyiq sensorlarının qaz kəmərlərinin əlaqələndirici boruların yerləşdiyi hissədə boru kəmərinə quraşdırılması təklif olunur. Bu sensorlar boru düzümlərində dəyişən təzyiqin vəziyyəti haqqında məlumatın internet üzərindən idarəetmə məntəqəsində izlənməsinə imkan verir.

Məlumdur ki, boru kəmərlərində texniki istismarının proqnozlaşdırılması və qəza hallarının idarə edilməsi üçün aşağıdakı texnologiyalar mövcuddur: əşyaların interneti [6]; maşın öyrənmə və süni intellekt [1,20]; real vaxt ərzində məlumat ötürülməsi üçün 5G kimi qabaqcıl rabitə protokolları [18,24]; Arduino Uno nəzarətçisi -məlumatların toplanması və təhlili üçün Bulud yaddaşı [7,15,27]; hibrid modellər [4]; real vaxt monitorinqi və ya süni intellekt [2,18]. Bu texnologiyalar mürəkkəb qaz nəqli sistemlərində getdikcə daha çox rol oynayır və qaz kəmərlərinin səmərəli istismarı üçün nəzərə alınmalıdır. Məlumdur ki, magistral və paylayıcı qaz kəmərləri yaşayış məntəqələrindən əsasən uzaq və əlçatmaz yerlərdə layihələndirilir. Ona görə də, əvvəllər bu qaz boru kəmərlərinin texnoloji rejiminə nəzarət çətin olduğu üçün onların texniki istismar xərcləri müvafiq olaraq çox olurdu. İndi isə qaz kəmərlərində baş verən dəyişiklikləri innovasiyanın tətbiqi ilə onlara quraşdırılmış qurğular vasitəsilə internet üzərindən, uzaqdan müşahidə oluna və izlənilə bilər. Buna misal olaraq, qaz kəmərinin xətti hissəsinin qeyri-stasionar iş rejimlərinin monitorinqi və idarə edilməsi üçün tətbiq olunan əşyaların interneti (Iot) texnologiyası metodunu vurğulamaq olar [26]. Əşyaların İnterneti (IoT) texnologiyası aparat, proqram və şəbəkəni ehtiva edən cihazların qarşılıqlı əlaqə qurmasına, birgə fəaliyyət göstərməsinə və məlumat paylaşmasına imkan verən bir sistemdir. Hal-hazırda əşyaların İnterneti texnologiyasının sensorları həmin boru kəmərlərinin texnoloji və qəza rejimlərini uzaqdan internet üzərindən real vaxt rejimində izləyir və alınan məlumatları birbaşa nəzarət məntəqələrinə göndərir. Belə ki, bir sızma aşkar edilərsə həmin sistem boru kəmərinə zədələnmiş hissəsini əsas hissəsindən ayırmaq üçün kranları avtomatik olaraq işə salır (bağlayır). Bu

məsələrlə bağlı çoxsaylı yerli və xarici işlərdə baxılmışdır [9,10,19,21,23,25,29]. Həmin əsərlərdə müəlliflər qeyd olunan son texnologiya və metodologiyaların qaz kəmərlərinə integrasiyasının qaz boru sistemlərinin səmərəliliyini, təhlükəsizliyini və etibarlılığını artıracağı haqqında təsvir etmişlər. Təqdim olunan materiallarda, əlbəttə ki, xətti boru kəmərinin nəqlində sızma yerinin aşkarlanması üsullarına və yalnız bu prosesin nəticəsində şəbəkəsinin bütün uzunluğu boyunca qeyri-stasionar qaz axınının parametrlərinin təhlilinə geniş yer verilməmişdir. Bizim tədqiqatın əsas fərqli cəhəti paralel qaz kəmərinin qeyri-stasionar qaz axının müxtəlif keçid prosesləri təhlil edilir. Belə ki, paralel qaz kəmərlərinin boru xəttinin birinin bütövlüyünün pozulması şəraitində Şəkil 1-ə əsasən boru kəmərinin zədələnmiş yerinin sağında və solunda olan kranların işə salınması prosesi ilə yanaşı istehlakçıların fasiləsiz qazla təmini məqsədilə əlaqələndirici borulara quraşdırılmış pnevmatik kranların uzaqdan işə salınma prosesləri birgə təhlil edilir. Boru kəməri üzərindəki kranlar bağlanan andan ($t=t_1$) əlaqələndirici boruların işə salınması (açılması təzyiqin dəyişməsi qiymətləri) müddətinə ($t=t_2$) kimi zədələnən boru xəttinin üç fərqli hissəsində bir-birindən fərqlənən qeyri-stasionar qaz axını parametrlərinin təhlilinə geniş yer verilmişdir. Eləcə də, həmin keçid proseslərin iş rejimlərinin qazodinamik prosesinin bir nəzarət məntəqəsi vasitəsilə idarəetmə metodun qəbulu məqsədilə texnoloji sxemi işlənir. Bu tədqiqatda paralel qaz kəmərlərin qəza şəraitində zədələnmiş hissənin lokalizasiyası üçün klapan sensoru ilə yanaşı keçid proseslərin izlənilməsi üçün təzyiq sensorunun tətbiqi təklif olunur.

Şəkil 1-ə əsasən kranlar bağlanan andan zədələnmiş boru xəttin üç fərqli hissəsində ($0 \leq x \leq \ell_1$, $\ell_1 \leq x \leq \ell_3$, $\ell_3 \leq x \leq L$) baş verən qazodinamik prosesin riyazi modelləri biz tərəfdən tədqiq olunan [17] işdə geniş təhlil olunmuş və üç fərqli hissə üçün qeyri-stasionar qaz axının təzyiq funksiyaları aşağıdakı ifadələrdən ibarətdir [17].

$$0 \leq x \leq \ell_1$$

$$P_1(x, t) = P_1(x, t_1) + \frac{c^2}{\ell_1} \int_{t_1}^t G_0(\tau) d\tau + \frac{2c^2}{\ell_1} \sum_{n=1}^{\infty} \cos \frac{\pi n x}{\ell_1} \int_{t_1}^t G_0(\tau) \cdot e^{-\alpha_3(t-\tau)} d\tau + \frac{c^2}{2a\ell_1} \frac{dP_1(0, t_1)}{dx} \int_{t_1}^t \left[1 + 2 \sum_{n=1}^{\infty} \cos \frac{\pi n x}{\ell_1} e^{-\alpha_3 \tau} \right] d\tau \quad (1)$$

$$\ell_1 \leq x \leq \ell_3$$

$$P_2(x, t) = P_2(x, t_1) - \frac{c^2}{(\ell_3 - \ell_1)} \int_{t_1}^t G_{ut}(\tau) \left[1 + 2 \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n \cos \frac{\pi n (\ell_2 - \ell_3)}{\ell_3 - \ell_1} \right] \times \cos \frac{\pi n (x - \ell_1)}{\ell_3 - \ell_1} e^{-\alpha_4(t-\tau)} d\tau \quad (2)$$

$$\ell_3 \leq x \leq L$$

$$P_3(x, t) = P_3(x, t_1) - \frac{c^2}{(L - \ell_3)} \int_{t_1}^t G_s(\tau) \left[1 + 2 \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n \cos \frac{\pi n (x - \ell_3)}{L - \ell_3} \cdot e^{-\alpha_5(t-\tau)} \right] d\tau - \frac{c^2}{2a(L - \ell_3)} \frac{dP_3(L, t_1)}{dx} \int_{t_1}^t \left[1 + 2 \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n \cos \frac{\pi n (x - \ell_3)}{L - \ell_3} \cdot e^{-\alpha_5 \tau} \right] d\tau \quad (3)$$

Burada,

$$\alpha_3 = \frac{\pi^2 n^2 c^2}{2a\ell_1^2}, \quad \alpha_4 = \frac{\pi^2 n^2 c^2}{2a(\ell_3 - \ell_1)^2}, \quad \alpha_5 = \frac{\pi^2 n^2 c^2}{2a(L - \ell_3)^2}$$

Qeyri-stasionar qaz axının nəzəri dəyərlərin eksperimental təhlili. Fərz edək ki, qaz sızmasının lokalizasiyası məqsədilə boru kəmərlərinə quraşdırılmış kranların $t=t_1=300$ saniyə müddətində klapanlar vasitəsilə avtomatik olaraq bağlanır. Onda paralel qaz kəmərinin fərqli olan hər üç hissəsi üçün qeyri-stasionar qaz axının dəyişməsi qanunauyğunluğunu təyin etmək üçün baxılan konkret qaz kəmərinin aşağıdakı verilənlərini qəbul edirik [17].

$$P_1(0, t_1) = 13.36 \times 10^4 \text{ Pa}; P_1(5000, t_1) = 12.82 \times 10^4 \text{ Pa}; P_1(10000, t_1) = P_2(10000, t_1) = 12.19 \times 10^4 \text{ Pa};$$

$$P_2(14500, t_1) = 11.56 \times 10^4 \text{ Pa}; G_0 = 10 \frac{\text{Pa} \times \text{san}}{\text{m}}; P_2(20000, t_1) = P_3(20000, t_1) = 11.24 \times 10^4 \text{ Pa};$$

$$P_3(25000, t_1) = 10.86 \times 10^4 \text{ Pa}; P_2 = 11 \times 10^4 \text{ Pa}; P_3(30000, t_1) = 10.4 \times 10^4 \text{ Pa}; P_1 = 14 \times 10^4 \text{ Pa}; L = 3 \times 10^4 \text{ m}; \ell_1 = 1 \times 10^4 \text{ m};$$

$$\ell_2 = 1.45 \times 10^4 \text{ m}; \ell_3 = 2 \times 10^4 \text{ m}; c = 383.3 \frac{\text{m}}{\text{sec}}; 2a = 0.1 \frac{1}{\text{sec}}$$

Baxılan müddət üçün $G_0(t) = G_s(t) = \text{constant}$ qəbul etmək olar [17]. Onda, (1) ifadəsindən istifadə edərək zədələnmiş boru xəttinin 1-ci hissəsinin uzunluğu boyu qeyri-stasionar qaz axının təzyiqinin qiymətlərini hər 120 saniyədən bir hesablayıb aşağıdakı cədvələ qeyd edirik (Cədvəl 1).

Cədvəl 1. Zədələnən qaz boru xəttinin 1-ci hissəsində ($0 \leq x \leq \ell_1$) xətti boyu və vaxtdan asılı olaraq təzyiqinin dəyişməsinin qiymətləri

x. km	$P_1(x, t), 10^4 \text{ Pa}$					
	$t = t_1 + a, \text{ san}$					
	a=0	a=120	a=240	a=360	a=480	a=600
0	13.36	14.58	15.46	16.35	17.24	18.13
5	12.82	13.67	14.55	15.44	16.33	17.22
10	12.19	12.91	13.8	14.69	15.57	16.46

Cədvəl 1-dən görünür ki, zədələnmiş boru üzərində olan avtomat kranları bağlandıqdan sonra qaz kəmərinin 1-ci hissəsində xətti boyu təzyiqin qiyməti vaxtdan asılı olaraq artır. Belə ki, $x=0$ başlanğıc nöqtəsində $a=0 \div 600$ saniyə müddəti aralığında təzyiqin qiyməti $13.36 \times 10^4 \text{ Pa}$ –dan $18.13 \times 10^4 \text{ Pa}$ –a kimi artır. $x=5 \text{ km}$ nöqtəsində təzyiqin qiyməti $a=0$ saniyədə təzyiqin qiyməti $12.82 \times 10^4 \text{ Pa}$ –dan $a=600$ saniyədən sonra $17.22 \times 10^4 \text{ Pa}$ -a kimi artır. Eləcədə, $x=10 \text{ km}$ olan son nöqtəsində $a=0$ saniyədə təzyiqinin qiyməti $12.19 \times 10^4 \text{ Pa}$ –dan $a=600$ saniyədə isə təzyiqin qiyməti $16.46 \times 10^4 \text{ Pa}$ -a kimi artır. Yəni, $a=0 \div 600$ saniyə müddəti aralığında uzunluğu boyu artımın nisbəti 1,35 –dir.

Ardıcıl olaraq, zədələnmiş boru xəttinin 2-ci hissəsinin uzunluğu boyu qeyri-stasionar qaz axının təzyiqinin qiymətlərini hər 120 saniyədən bir hesablayıb aşağıdakı cədvələ qeyd edirik (Cədvəl 2).

Cədvəl 2. Zədələnən qaz boru xəttinin 2-ci hissəsində ($\ell_1 \leq x \leq \ell_3$) xətti boyu və vaxtdan asılı olaraq təzyiqinin dəyişməsinin qiymətləri

x. km	$P_2(x, t), 10^4 \text{ Pa}$					
	$t = t_1 + a, \text{ san}$					
	a=0	a=120	a=240	a=360	a=480	a=600
10	12.19	10.59	9.7	8.81	7.93	7.04
14.5	11.56	10.52	9.63	8.74	7.86	6.97
20	11.24	10.01	9.13	8.24	7.35	6.46

Cədvəl 2-dən görürük ki, 2-ci hissəsinin başlanğıc nöqtəsindən son nöqtəsi istiqamətdə təzyiqin qiyməti vaxtdan asılı olaraq azalır. Belə ki, $x=10 \text{ km}$ olan başlanğıc hissəsində $a=600$ saniyə müddətində təzyiqin azalma nisbəti 1,73, $x=14,5 \text{ km}$ nöqtəsində azalmanın nisbəti 1,65 və $x=20 \text{ km}$ olan son nöqtəsində isə azalmanın nisbəti 1,73 –dir. Analiz əsasında qeyd edə bilərk ki, 2-ci hissəsinin başlanğıc və son nöqtəsində təzyiqin azalma nisbətinin qiyməti bir-birinə bərabərdilər. Sızma nöqtəsində isə həmin nisbətənin qiyməti artır.

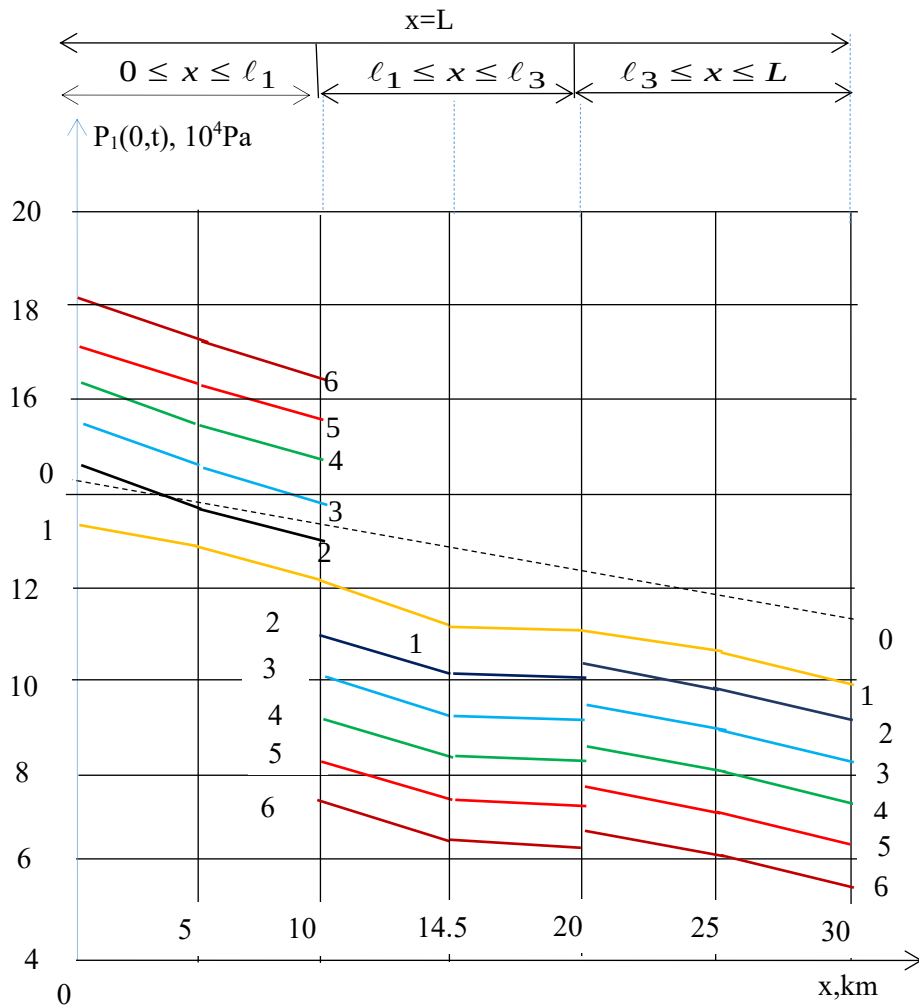
Ardıcıl olaraq, zədələnmiş boru xəttinin 3-cü hissəsinin uzunluğu boyu qeyri-stasionar qaz axının təzyiqinin qiymətlərini hər 120 saniyədən bir hesablayıb aşağıdakı cədvələ qeyd edirik (Cədvəl 3).

Cədvəl 3. Zədələnən qaz boru xəttinin 3-cü hissəsində ($\ell_3 \leq x \leq L$) xətti boyu və vaxtdan asılı olaraq təzyiqinin dəyişməsinin qiymətləri

x. km	$P_3(x,t), 10^4 \text{ Pa}$					
	$t=t_1+a, \text{ sec}$					
	a=0	a=120	a=240	a=360	a=480	a=600
20	11.24	10.52	9.63	8.74	7.86	6.97
25	10.86	10.01	9.13	8.24	7.35	6.46
30	10.4	9.19	8.3	7.41	6.52	5.63

Cədvəl 3-dən görürük ki, 3-cü hissəsinin başlanğıc nöqtəsindən son nöqtəsi istiqamətdə təzyiqin qiyməti vaxtdan asılı olaraq azalır. Belə ki, $x=20$ km başlanğıc nöqtəsində $a=0$ saniyədə təzyiqin qeyd olunan qiyməti $11.24 \times 10^4 \text{ Pa}$ –dan, $a=240$ saniyədə azalaraq qiyməti $9.52 \cdot 10^4 \text{ Pa}$ –a, $a=600$ saniyədə isə təzyiqin qiyməti $6.97 \times 10^4 \text{ Pa}$ -a kimi azalır. Yəni $a=600$ saniyədə azalma nisbəti 1,6 –dir. $x=25$ km nöqtəsində $a=0$ saniyədə qeyd olunan qiyməti $10.86 \times 10^4 \text{ Pa}$ –dan $a=600$ saniyədə isə təzyiqin qiyməti $6.46 \times 10^4 \text{ Pa}$ -a kimi azalır. Yəni azalmanın nisbəti 1,68 –dir. $x=30$ km son nöqtəsində isə $t=600$ saniyədə təzyiqin qiyməti $5.63 \cdot 10^4 \text{ Pa}$ -a kimi azalır. Yəni azalmanın nisbəti 1,85 –dir. Analiz əsasında qeyd edə bilərik ki, 3-cü hissəsinin başlanğıc nöqtəsindən son nöqtəsi istiqamətdə təzyiqin azalma nisbəti artır. Bu zaman zədələnmiş qaz kəmərinin son hissəsində təzyiqinin kəskin azalması səbəbindən tələbatçılara qaz veriminin həcmi də azalcaq.

Cədvəl 1, Cədvəl 2 və Cədvəl 3-dən istifadə edərək mürəkkəb qaz kəmərin 1-ci, 2-ci və 3-cü hissələrində zədələnmiş boru xəttinin uzunluğu boyu təzyiqin vaxtdan asılı olaraq paylanılmasının qrafikini qururuq (Şəkil 2). Şəkil 2-dən göründüyü kimi paralel qaz boru düzümlərinin bütövlüyü pozulmadığı halda, yəni stasionar rejimdə hər iki boru xəttinin uzunluğu boyu təzyiqlərin qiymətləri bir -birinə bərabərdir və zamandan asılı olmayaraq dəyişməzlər (0-0 xətti). Boru xətlərdən birinin kipliyi pozulduğu şəraitdə (şəkil 2-yə əsasən 7-ci düzüm) 1-ci düzümə qaz axının qazodinamik prosesində dəyişiklik baş vermir, yəni stasionar rejimdə işləyir (0-0 xətti).



Şəkil 2. $t=t_1$ anında $x=\ell_1$ və $x=\ell_3$ hissələrdə olan kranları bağlandıqdan sonra qaz kəmərinin xətti boyu təzyiqin qiymətinin vaxtdan asılı olaraq dəyişməsinin qrafiki (0- $t=0$ stasionar halında, 1- $t=t_1$, 2- $t=t_1+120$ san, 3- $t=t_1+240$ san, 4- $t=t_1+360$ san, 5- $t=t_1+480$ san, 6- $t=t_1+360$ san)

Bütövlüyü pozulan düzümdə işə uzunluğu boyu təzyiqinin qiyməti vaxtdan asılı olaraq azalır (şəkil 2-də 1-1 xətti) və $t=t_1=300$ saniyə müddətində düzümün $x=0$ başlanğıc hissəsində təzyiqinin qiyməti $P_1=14 \times 10^4$ Pa –dan 13.36×10^4 Pa-a, $x=\ell_1=10$ km hissəsində $P(\ell_1,0)=13 \times 10^4$ Pa –dan 12.19×10^4 Pa-a, $x=\ell_2$ sızma hissəsində $P(\ell_2,0)=12.6 \times 10^4$ Pa –dan 11.6×10^4 Pa-a, $x=\ell_3=20$ km hissəsində $P(\ell_3,0)=12 \times 10^4$ Pa –dan 11.24×10^4 Pa-a və $x=L$ son hissəsinə təzyiqinin qiyməti $P_2=11 \times 10^4$ Pa –dan 10.4×10^4 Pa-a kimi azalır. Təhlilin nəticəsində qeyd etmək olar ki, bütövlüyü pozulan boru xəttinin uzunluğu boyu təzyiqin qiyməti azalır və sızma nöqtəsində azalma həddinin qiyməti digər hissələrə nisbətə daha çoxdur.

Qeyd edildiyi kimi qəzq şəraitində $t=t_1$ anında boru xətti $x=\ell_1$ və $x=\ell_3$ hissələrində olan kranlar avtomatik olaraq bağlanır.

Texnoloji İdarəetmə sistemlərinə və alqoritmlərin yaradılması. Qaz kəmərinin qeyri-stasionar axın rejimlərinin nəzəri təhlillərinə əsasən demək olar ki, $t=t_1$ anda zədələnmiş hissələrdə olan əlaqələndirici borular üzərində olan pnevmatik kranların açılması qazodinamik prosesin tələbinə əsasən məqsədə uyğun deyil. Ona görə ki, $x=\ell_1$ hissəsində zədələnmiş düzümdə olan təzyiqin qiyməti zədələnməmiş boru xəttindəki təzyiqdən ($12.19 \times 10^4 < 13 \times 10^4$) kiçik olduğu üçün qaz selinin axını əks istiqamətdə olacaq. Yəni zədələnməmiş boru xəttindən qaz kütləsi zədələnmiş boru xəttinə axacaq və bunun nəticəsində istehlakçılara qaz veriminin fasiləsizliyi və rejimi ciddi pozulacaq. Bu məqsədlə əlaqələndirici boruların işə salınması (açılması) üçün müəyyən müddət ($t=t_2$ anına kimi)

gözlənilməsi məqsədə uyğundur. O vaxta ki, $x = \ell_1$ hissəsində zədələnmiş düzümdə olan təzyiqin qiyməti zədələnməmiş boru xəttindəki təzyiqdən böyük olsun. Digər tərəfdən, Şəkil 2-ə əsasən, həmin vaxtlarda zədələnmiş boru xəttinin başlanğıc $x=0$ hissəsindəki təzyiqin artımı $x = \ell_1$ hissəsində olan artımı üstəliyi. Bu zaman magistral qaz kəmərlərin əsas avadanlığı olan kompressor stansiyasında vurucu aqreqlərin qorunması üçün onların sıxılma əmsalı olan ε -nin məhdud qiymətinə böyük əhəmiyyət verilməlidir. Məlumdur ki, kompressorun vurucu aqreqlərinin sıxılma əmsalını məhdud qiyməti üçün $\varepsilon \leq 1.3$ [$P_1/P(0, t_2) \leq 1.3$] qəbul olunur [17].

Digər tərəfdən Şəkil 2-dən göründü kimi boru kəmərinə quraşdırılmış kranlar avtoatik olaraq bağlandıqdan sonra, zaman keçdikcə, tələbatçılara qaz veriminin həcmi də azalır. Tələbatçıla lazım olan miqdarda fasiləsiz qazla təmini məqsədilə $x = \ell_1$ və $x = \ell_3$ hissələrində əlaqələndirici boru xəttinə quraşdırılmış kranların uzaqdan işə salınması (açılması) vacibdir. Bu məqsədlə idarəetmə mərkəzində ilk olaraq kranların işə düşməsi haqqında məlumat almalı və tez bir zamanda həmin kranların boru kəmərinə yeri məlum olmalıdır. Qeyri-stasionar qaz axının təzyiqinin nəzəri dəyərlərinin eksperimental təhlilindən məlum oldu ki, kranlar bağlanan andan qaz kəmərinin başlanğıc hissəsində təzyiqi vaxtdan asılı olaraq artır. Lakin, son hissəsində təzyiqin qiyməti vaxtdan aslı olaraq azalır. Analizin nəticəsi göstərir ki, qazodinamik prosesi bu xüsusiyyəti yalnız kranların bağlanması halında ola bilər. Deməli, nəzarət məntəqəsində qaz kəmərinin başlanğıc və son hissələrinə quraşdırılmış təzyiq sensorlarından alınan məlumatların təhlilindən bu xüsusiyyət aşkarlandığı halda kranların bağlanması prosesini qeyd edirlər. Həmin kranların yerinin təyin edilməsi üçün isə (1) ifadəsindən istifadə edərək qaz kəmərinin başlanğıc nöqtəsində təzyiqin dəyişməsinə xarakterizə edən tənliyi aşağıdakı kimi təyin edirik.

$$P_1(0, t) = P_1(0, t_1) - \frac{2a\ell_1}{3} G_0 + \frac{2c^2}{\ell_1} G_0 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{e^{-an^2(t-t_1)} + e^{-an^2t} - e^{-an^2t_1}}{\alpha n^2} \quad 0 \quad (4)$$

$$\text{Burada, } \alpha = \frac{\pi^2 c^2}{2a\ell_1^2}$$

(4) tənliyinin sadələşdirilmiş ifadəsi aşağıdakı kimi olacaq.

$$P_1(0, t) = P_1(0, t_1) + \frac{2c^2 G_0}{\ell_1} (t - t_1)(1 - C) - 2aG_0 \ell_1 \left(\frac{1}{3} + \frac{2}{\pi^2} \right) \quad (5)$$

“C”- Eyler sabiti olub, qiyməti $C=0.577215$ qəbul olunur.

(5) tənliyində bir neçə riyazi əməliyyatın nəticəsində aşağıdakı kvadrat tənliyini alırıq.

$$2aG_0 \left(\frac{1}{3} + \frac{1}{\pi^2} \right) \ell_1^2 + [P_1(0, t) - P_1(0, t_1)] \ell_1 - 2c^2 G_0 (1 - C)(t - t_1) = 0 \quad (6)$$

Beləliklə (6) kvadrat tənliyinin yalnız müsbət kökünü qəbul edərək $x = \ell_1$ xə $x = \ell_3$ nöqtələrində əlaqələndirici borulara quraşdırılmış avtomat kranların yerinin təyini üçün aşağıdakı analitik düstur alırıq.

$$\ell_1 = \frac{\sqrt{Z^2 + 8c^2 G_0 (1 - C)(t - t_1) Z_1} - Z}{2Z_1} \quad (7)$$

$$\text{Burada, } Z = [P_1(0, t) - P_1(0, t_1)]; \quad Z_1 = 2aG_0 \left(\frac{1}{3} + \frac{2}{\pi^2} \right)$$

Qeyd olunduğu kimi paralel qaz kəmərləri istismara verilən andan əlaqələndirici borular arasındakı addımın uzunluğunu ifadə edən ℓ -in qiyməti idarəetmə məntəqəsində məlum olduğundan $x = \ell_3$ nöqtələrində əlaqələndirici borulara quraşdırılmış avtomat kranların yerinin təyini üçün aşağıdakı analitik ifadəni alırıq.

$$\ell_3 = \ell_1 + \ell \quad (8)$$

Yuxarıda aparılan təhlillərin nəticəsi olaraq qeyd etmək olar ki, əlaqələndirici boru xəttinə quraşdırılmış kranların işə salınma müddətinin texnoloji cəhətdən aşkar edilməsi paralel qaz

kəmərinin zədələnmiş boru xəttinin $x=0$ və $x=\ell_1$ hissəsindəki $t=t_2$ anındakı təzyiqlərinin qiymətinə əsaslandırılmalıdır. Onda, idarəetmə mərkəzinə informasiyanın ötürülməsi və qaz kəmərinin etibarlı idarəedilməsi üçün ilkin olaraq sensorlardan verilənlərin qəbul olunması vacibdir. Nəzarət məntəqəsində əldə edilən verilənlərin təhlili və təsdiqi üçün maşın öyrənməsi mexanizmə əsaslanan alqoritmin yaradılması üçün aşağıdakı sistem tənliyi qəbul olunur.

$$\begin{cases} \frac{P_1}{P(0,t)} < \varepsilon \\ \frac{P_1(\ell_1,0)}{P(\ell_1,t)} > 1 \end{cases} \quad (9)$$

İlik növbədə, qaz kəmərinin başlanğıc hissəsində təzyiqin dəyişməsi qiymətləri və eləcə də son hissəsindəki təzyiqin dəyişməsi qiymətləri əsasında nəzarət məntəqəsində kranların işə düşmə halını qeyd ala bilirlər. Həmin vaxtda (7) və (8) ifadələrindən istifadə edərək sızma hissəsinin sağında və solunda olan əlaqələndirici boruların yeri təyin olunur. Ardıcıl olaraq idarəetmə məntəqəsində təzyiq sensorlarından alınan məlumatların təhlili nəticəsində (9) şərti təsdiqlənir. Beləliklə, real vaxt rejiminin, yəni $t=t_2$ müddətinin aşkarlanır. Həmin vaxtda əlaqələndirici boru üzərində olan kranlar nəzarət məntəqəsindən işə salınır. Bunun nəticəsində paralel qaz kəmərinə qidqlanan müxtəlif katiqoriyalı tələbatçılar fasiləsiz olaraq qazla təmin olunacaqlar.

Cədvəl 1 -dən göründüyü kimi $t=t_1+120$ saniyyə müddətində $x=\ell_1$ hissəsində zədələnmiş düzümdə olan təzyiqin qiyməti zədələnməmiş boru xəttindəki təzyiqdən ($12.91 \times 10^4 > 12.19 \times 10^4$) böyükdür və həmin anda $\varepsilon=14.58/14=1.05 < 1.3$, deməli (9) şərti ödənilir. Deməli, baxılan qəza şəraiti və konkret qaz kəməri üçün $t_2=t_1+120$ müddətində idarəetmə məntəqəsi əlaqələndirici borulara quraşdırılan kranları işə sala bilər.

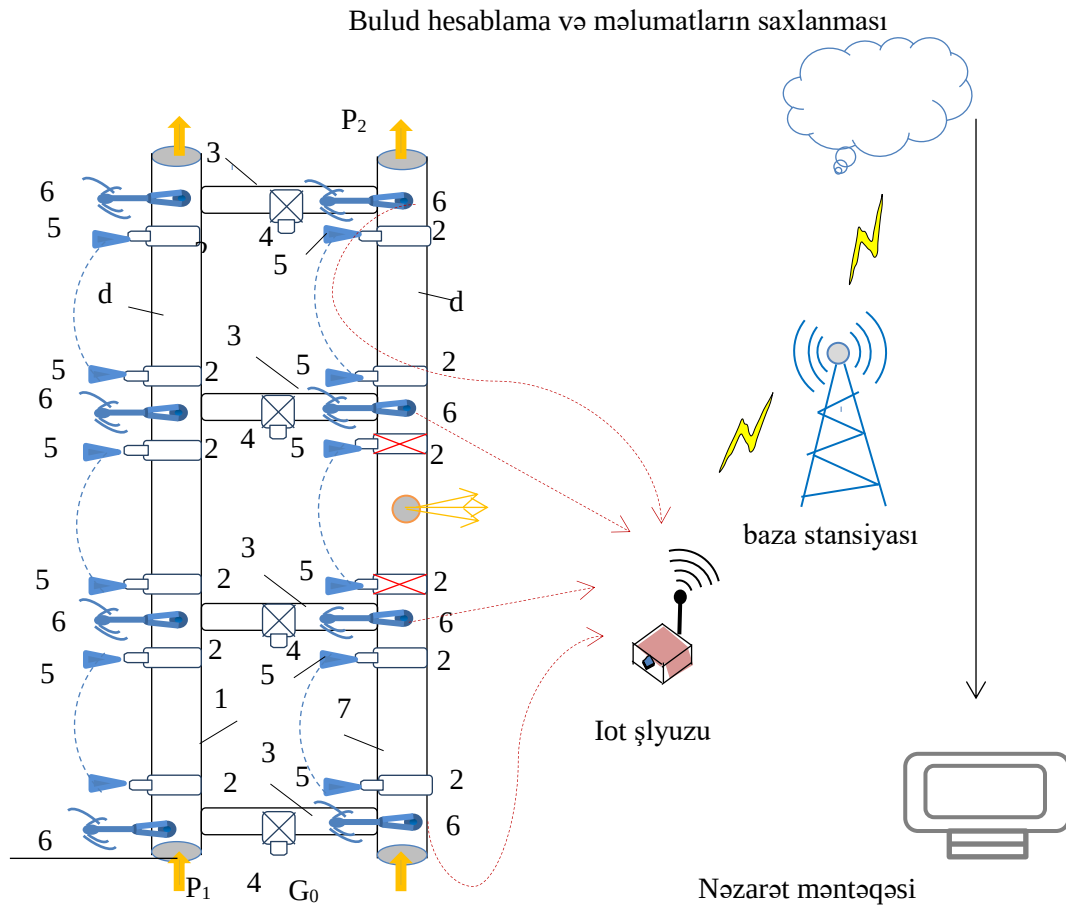
Qeyd olunanların və əldə olunan empirik düsturun yoxlanılması məqsədilə nəzəri eksperimental məlumatlara istinad edirik.

Cədvəl 1-in və konkret qaz kəmərinin verilənlərindən, (7) və (8) düsturundan istifadə edərək $t=t_1+120$ anındakı qaz kəmərinin başlanğıc təzyiqinin qiymətindən istifadə edərək əlaqələndirici boruya quraşdırılmış işə salınacaq kranın yerini təyin edək.

$$Z = [P_1(0,t) - P_1(0,t_1)] = 14.58 - 13.36 = 1.22; \quad Z_1 = 0.1 \times 10 \times (0.333 + 0.203) = 0.536$$

$$\ell_1 = \frac{\sqrt{Z^2 + 8c^2 G_0 (1-C)(t-t_1)Z_1} - Z}{2Z_1} = 0.9 \times 10^4 \text{ m}; \quad \ell_3 = 0.9 \times 10^4 + 1 \times 10^4 = 1.9 \times 10^4 \text{ m}$$

Nəzəri eksperimental nəticələrin əldə olunması üçün konkret paralel qaz kəmərinə əlaqələndirici boruların faktiki məsafəsi $\ell_1^f = 1 \times 10^4$ m və $\ell_3^f = 2 \times 10^4$ m qəbul edilmişdir. Deməli, baxılan konkret paralel qaz kəmərinin əlaqələndirici boru xəttinə quraşdırılan kranın faktiki qiyəti ilə (7) düsturu ilə təyin olunmuş qiymətinin nisbi xətası 0.1-ə bərabərdir. Nisbi xətanın bu göstəricisi boru sistemlərində qeyri-stasionar qaz axınlarının qeyri-xətti diferensial tənliklər sisteminin xəttişdirilməsinə [28] və eləcə də (1) ifadəsinin sadələşdirilməsinin nəticəsinə əsaslanır. Lakin bu göstərici əlaqələndirici boru xətlərin yerinin təyini üçün qəbul olunandır. Çünki paralel qaz kəmərlərinə quraşdırılan əlaqələndirici boru xətlər arasındakı məsafə texnoloji və iqtisadi cəhətdən kifayət qədər böyük ədəddir. Məsafənin kifayət qədər uzunluğu üçün nisbi xətanın qeyd olunan göstəricisi əlaqələndirici boru xətlərinin yerinin aşkarlanmasına xələl gətirə bilməz. Məsələn, əgər, paralel qaz kəmərinin uzunluğu minimum 10 km olarsa, əlaqələndirici borular arasındakı məsafə texnoloji və iqtisadi cəhətdən minimum 1km olacaq [13].



Şəkil 3. Paralel qaz kəmərinin qeyri-stasionar qaz axınının idarə edilməsinin üçün İoT və Bulud hesablaması və məlumatların saxlanması sisteminin texnoloji sxemi

Paralel qaz kəmərinin qeyri-stasionar qaz axınının idarə edilməsinin etibarlılığına nəzarət üçün idarəetmə mərkəzində İoT və Bulud hesablaması və məlumatların saxlanması sisteminin tətbiqi Şəkil 4-ə əsasən aşağıdakı ardıcılıqla yerinə yetiriləcək.

Şəkil 3-dən görüldüyü kimi paralel qaz kəmərinin 7-ci boru düzümünün 8-hissəsində bütövlüyü (kipliği) pozulduğu halda həmin hissənin sağına və solunda olan avtomat kranları nəzarət sensorlarının impulsundan $t=t_1$ anında eyni vaxtda bağlanırlar. Mərkəzi idarəetmə məntəqəsi həmin anı qaz kəmərinin son hissələrində olan təzyiq sensorlarından alınan məlumat əsasında $[P_1(0,t)-P_1>0$ və $P_2(L,t)-P_2<0]$ kranların bağlanılma hadisəsini qeydə alır. Çünki boru kəmərinin başlanğıc hissəsində həmin andan sonra təzyiqinin qiyməti artır və son hissəsindəki təzyiqinin qiyməti azalır. Beləki bu cür qazodinamik proses yalnız avtomat kranları bağlandıqdan sonra baş verə bilər. İdarəetmə məntəqəsində (7) və (8) düsturlarının köməyiylə qəza hissəsini sağında və solunda olan əlaqələndirici boruların yeri təyin olunur. Həmin yerdə quraşdırılan təzyiq sensorlarından alınan məlumatlar əşyaların interneti Şlyuzuna ötürülür. Əşyaların interneti Şlyuzundnn məlumatlar baza stansiyası qurğusu vasitəsilə məlumatların saxlanması və təhlili üçün bulud yaddaş sisteminə ötürülür. İdarəetmə məntəqəsində monitoring və nəzarət cihaznaı ötürülən məlumatlar təhlil olunur və hesablanır. Əldə olunan parametrlərin qiymətləri təyin olunur və (9) sistem tənliyin şərti ödənilirdiyi halda yeri təyin olunmuş ($x= x_0 x=$) əlaqələndirici borular üzərindəki kranlar idarəetmə məntəqəsində persionallar tərəfindən $t=t_2$ anında işə salınır (açılır). Beləliklə, paralel qaz kəmərinə qidalanan tələbatçılara qaz verimi fasiləsiz olacaq.

Paralel qaz kəmərinin zədələn hissəsi müəyyən müddət ərzində xüsusi qəza birqadasının personalları tərəfdən texniki- istismarın tələblərinə uyğun olaraq təmir olunur. Təmir olunan paralel qaz kəməri yenidən əvvəlki stasionar rejimində istismar olunur.

Nəticə. Paralel qaz kəmərlərin idarəetmə proseslərə nəzarət sistemləri üçün qeyri-stasionar qaz axının əks etdirən riyazi modelinin təhlilinin həyata keçirilməsi nəticəsində idarəetmə məntəqəsinin informasiya bazası üçün maşın öyrənməsi texnologiyasına əsaslanan empirik alqoritm təyin olunmuşdur. İşlənmiş alqoritmın texnoloji idarəetmə sisteminə tətbiqi avtomatlaşdırılmış idarəetmə qərarların həllinin effektivliyini artıracaqdır.

İşlənmiş hesabat sxemi əsasında mühəndisi məsələlərinin həlli üçün nəzərdə tutulmuş alqoritmlər mövcud paralel qaz kəmərləri sistemlərinin rekonstruksiyası üçün tövsiyə oluna bilər. Bu da paralel qaz kəmərlərin səmərəli istismarın üçün mərkəzi idarəetmə sistemini təkmilləşdirməyə imkan verəcək.

Aparılan təhlillərindən məlum olur ki, paralel kəmərin başlanğıc və son hissələrində təzyiqin halının dəyişməsinin qiymətləri avtomat kranların işə düşmə vaxtından birbaşa asılıdır. Qəza şəraitdə paralel qaz kəmərinin zədələnmiş hissələrində klapan sensorları vasitəsilə kranların tez bir zamanda bağlanması nəticəsində zədələnmiş boru şəbəkənin əsas hissəsində ayırır ki, bu da ətraf mühitə itirilən qaz itkisini əhəmiyyətli dərəcədə azalmasına və eləcə də texnoloji itkilərin minimuma endirilməsinə səbəb olur.

Qəza şəraitində təzyiq sensorlardan alınan məlumatın təhlili əsasında real vaxt rejimində əlaqələndiricilərin uzaqdan işə salınması məqsədilə yerlərinin təyini üçün empirik düstur əldə olunmuşdur. Həmin düsturun mərkəzi idarəetmə məntəqəsində tətbiqi nəticəsində istehlakçılara qaz tədarükünün fasiləsizliyinin təmin oluması səbəbindən paralel qaz kəmərinin etibarlılığının və təhlükəsizliyini artırılmasına nail olunur.

Ədəbiyyat

1. Sircar, A. B., Yadav, K., Rayavarapu, K., Bist, N., & Oza, H. (2021, December). Application of machine learning and artificial intelligence in the oil and gas industry. *Petroleum Research*, 6(4), 379–391, China
2. Banerjee, A., & Raj, K. (2022). Real-time data analytics with AI for cloud monitoring. *Cloud Management Journal*, 6(5), 112–128
3. Das, A., Sarma, M. P., Sarma, K. K., & Mastorakis, N. (2018, July). Design of an IoT-based real time environment monitoring system using legacy sensors. *Web of Conferences*, 210, 415–421, Majorca, Spain
4. Yazdi, A. K., Hanne, T., & Osorio, J. C. (2021, December). A hybrid model for ranking critical successful factors lean Six Sigma in the oil and gas industry. *The TQM Journal*, 33(8), 1825–1844
5. Парсегов, А. В., Варсегова, Е. В., Осипова, Л. Е., & Садыков, Р. А. (2019). Зоны повреждения при аварийной разгерметизации газопровода. *Известия КГАСУ*, (4)(50), 288–296
6. Wagh, A., Waghmare, A., Shinde, V., Dokhe, S., & Mahajan, R. (2024, March). LPG leakage detection using IoT. *International Journal of Advanced Research in Science, Communication and Technology (IJARSCT)*, 4(1)
7. Burjes, A. Y., Aziz, G. S., & Najm, H. Y. (2022). Design a mobile gas sensing system using Arduino Uno with recording and monitoring data. *Web of Scientist: International Scientific Research Journal*, 3(8), 1–9, Indonesia
8. Архипов, В. А. (2012). Study of working processes in automatic emergency shutoff devices for gas pipelines. *Bulletin of Tomsk State Pedagogical University*, 43(6), 54–59
9. Ananya, C., & Kavitha, S. (2022). A smart gas stove with gas leakage detection and multistage prevention system using IoT. *International Journal of Modern Developments in Engineering and Science*, 1(9)
10. Tukkoji, C., & Kumar, S. (2020). LPG gas leakage detection using IoT. *International Journal of Engineering Applied Sciences and Technology*, 4(12), 603–609
11. Aba, E. N., Olugboji, O. A., Nasir, A., Olutoye, M. A., & Adedipe, O. (2021, January). Petroleum pipeline monitoring using an internet of things (IoT) platform. *SN Applied Sciences*, 14(2), 1–12

12. Chraim, F., & Pister, K. (2013). Wireless valve position monitoring: A MEMS approach. In 39th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (pp. 4016–4021). Vienna, Austria
13. Takhmazov, F. I., Aliyev, I. G., Yusifov, M. Z., & Omargadieva, M. A. (2024, June). Investigation of effective placement of connecting fittings to prevent gas losses during operation of parallel networks. *International Journal on Technical and Physical Problems of Engineering*, 16(2), 135–141
14. Senthil, G., Suganthi, P., Prabha, R., Madhumathi, M., Prabhu, S., & Sridevi, S. (2023). An enhanced smart intelligent detecting and alerting system for industrial gas leakage using IoT in sensor network. In 5th International Conference on Smart Systems and Inventive Technology (ICSSIT) (pp. 397–401). IEEE
15. Al-Asadi, H. A. A., & Chlahiawi, A. A. J. (2023, June). Design and implementation of IoT SCADA system based on open channel flow. *International Journal of Technical and Physical Engineering*, 15(2), 149–154
16. Aliyev, İ. G. (2024, December). Engineering solutions for non-stationary gas pipeline reconstruction and emergency management. *International Journal of Technical and Physical Engineering*, 16(4), 181–193
17. Aliyev, İ. G. (2024). Methodology for selecting conditions of non-stationary gas pipeline exploitation during the reconstruction stage. *Eastern European Scientific Journal*, 1(4), 3–27. <https://archive.eesajournal.com/index.php/eesa/issue/view/97>
18. Anifah, L., Zuhrie, M. S., Muhammad, & Haryanto. (2023, March). Integrated smart real time scoring Pencak Silat based on Internet of Things (IoT). *International Journal of Technical and Physical Engineering*, 15(1), 155–163
19. Adegboye, M. A., Fung, W. K., & Karnik, A. (2019, May). Recent advances in pipeline monitoring and oil leakage detection technologies: Principles and approaches. *Sensors*, 19(11), 2548, UK
20. Al-Sabaei, M. A., Alhussian, H., Abdulkadir, S. J., & Jagadeesh, A. (2023). Prediction of oil and gas pipeline failures through machine learning approaches: A systematic review. *Energy Reports*, 10, 1313–1338, China
21. Baballe, M. A., & Bello, M. I. (2022). Gas leakage detection system with alarming system. *Journal Article*, 9(1), 30–43
22. Kurasov, O. A., & Burkov, P. V. (2021). Substantiation of methods of improving safety of pipeline gas transportation. *E3S Web of Conferences*, 266, 01012, Tomsk
23. Hussein, O. D., Muhudin, A., Abdullahi, H. O., & Ali, M. A. (2024, July). Gas leakage detection in Somalia: Advancing safety with IoT-based systems. *SSRG International Journal of Electrical and Electronics Engineering*, 11(7), 228–237
24. Al-Jadir, S. J. (2021, December 9). The use of 5G technologies in the digital transformation of the oil/gas industry. In Abu Dhabi International Petroleum Exhibition & Conference (Paper No. SPE-207529-MS). UAE. <https://doi.org/10.2118/207529-MS>
25. Li, S., Xia, C., Cheng, Z., Mao, W., Liu, Y., & Habibi, D. (2020, March). Leak location based on PDS-VMD of leakage-induced vibration signal under low SNR in water-supply pipelines. *IEEE Access*, 8, 68091–68102, China

Məqaləyə istinad: Əliyev İ.Q. (2025). Paralel qaz kəmərləri sisteminin qəza rejimlərinin idarə olunmasında qabaqcıl mühəndislik yanaşmaların tətbiq məqsədilə rekonstruksiyası. Elmi Əsərlər/Scientific Works, AzMIU, 1, 169-180

For citation: Aliyev I.G. (2025). Reconstruction of parallel gas pipeline systems in order to apply advanced engineering approaches to control emergency modes. Elmi əsərlər/Scientific Works, AzUAC, 1, 169-180

Redaksiyaya daxil olma/Received 11.11.2024

Çapa qəbul olunma/Accepted for publication 11.02.2025