

Торайғыров университетінің хабаршысы
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайғыров университета

Торайғыров университетінің ХАБАРШЫСЫ

Энергетикалық сериясы
1997 жылдан бастап шығады



ВЕСТНИК Торайғыров университета

Энергетическая серия
Издается с 1997 года

ISSN 2710-3420

№ 3 (2025)

ПАВЛОДАР

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайгыров университета

Энергетическая серия
выходит 4 раза в год

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о постановке на переучет периодического печатного издания,
информационного агентства и сетевого издания

№ 14310-Ж

выдано

Министерство информации и общественного развития
Республики Казахстан

Тематическая направленность

публикация материалов в области электроэнергетики,
электротехнологии, автоматизации, автоматизированных и
информационных систем, электромеханики и теплоэнергетики

Подписной индекс – 76136

<https://doi.org/10.48081/TPDW7598>

Бас редакторы – главный редактор

Талипов О. М.

доктор PhD, ассоц. профессор (доцент)

Заместитель главного редактора

Калтаев А.Г., *доктор PhD*

Ответственный секретарь

Сағындық Ә.Б., *доктор PhD*

Редакция алқасы – Редакционная коллегия

Клецель М. Я.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Никифоров А. С.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Новожилов А. Н.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Никитин К. И.,	<i>д.т.н., профессор (Российская Федерация)</i>
Алиферов А. И.,	<i>д.т.н., профессор (Российская Федерация)</i>
Кошеков К. Т.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Приходько Е. В.,	<i>к.т.н., профессор</i>
Кислов А. П.,	<i>к.т.н., доцент</i>
Нефтисов А. В.,	<i>доктор PhD</i>
	<i>технический редактор</i>

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели

Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов

При использовании материалов журнала ссылка на «Вестник Торайгыров университета» обязательна

© Торайгыров университет

<https://doi.org/10.48081/WMQZ8050>***Д. М. Чныбаева¹, Ю. А. Цыба²**

^{1,2}Ғұмарбек Даукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті, Қазақстан Республикасы, Алматы қ.

¹ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7297-0661>

²ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2688-7976>

*e-mail: danna_shyn@mail.ru

WIRELESSHART ТЕХНОЛОГИЯСЫ БОЙЫНША МАГИСТРАЛЬДЫҚ ҚҰБЫРДАҒЫ ГАЗДЫҢ АҒУЫН БАҚЫЛАУ

Мақалада құбырдағы теріс қысым толқынын (NPW) бақылау арқылы магистральдық газ құбырында (МГ) тасымалдау кезінде газдың ағып кетуін анықтау бойынша өзекті мәселе шешіледі. Бұл бақылаудың ғылыми жаңалығы мынада теріс қысым толқындары құбыр бойымен таралу сымсыз интеллектуалды Wireless HART жүйесінің сандық қысым датчиктерімен бүкіл ұзындығы бойынша бақыланады. Бұл жүйені қолдану газдың ағып кетуін нақты уақыт режимінде анықтауға мүмкіндік береді, тіпті ең аз ағып кетудің жоғары сезімталдығын қамтамасыз етеді, ал деректердің дәлдігі маңызды артықшылық болып табылады, өйткені сандық датчиктер мен машиналық оқыту технологияларын пайдалану жаңылыс іске қосылу санын азайтуға және жүйенің жалпы сенімділігі мен тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді. Бұл мониторинг тек газдың ағып кетуін ғана емес, сонымен қатар оны Wireless HART технологиясы негізінде ағып кету нүктесінде оқшаулауға мүмкіндік береді. Негізгі модульдерді қамтитын желілік сымсыз сенсорлық желілерге (LWSN) арналған ағып кетуді анықтау жүйесінің толық архитектуралық диаграммасы берілген, сонымен қатар графикалық пайдаланушы интерфейсін, серверлік дерекқорды және аралық бағдарламалық құралды қамтитын SimpliMote қолданбасының интерфейсі ұсынылған. Бұл жағдайда қосымшаны танымал платформаларда дербес компьютерден немесе Android негізіндегі мобильді құрылғылардан басқаруға болады. WirelessHART технологиясы жоғары сенімділігі, қауіпсіздігі және желінің өзін-өзі

қалпына келтіру қабілетінің арқасында сымсыз бақылаудың негізгі құралы ретінде таңдалды.

Кілтті сөздер: компрессорлық станция, магистральдық газ құбыры, ағып кету, сымсыз датчик, сандық басқару, газ айдау қондырғысы, асинхронды қозғалтқыш.

Кіріспе

Мұнай немесе газды магистральдық құбыр арқылы тасымалдау кезінде туындайтын төтенше жағдайлардан әлемдегі бірде-бір ел кепілдік бермейді. Сондықтан жеңіл көмірсутектердің жанғыш фракциялары бар құбырдың тұтастығын бақылау өте маңызды [1, 2, 3, 240–259–б.б.].

МГҚ-да газдың ағуы, әдетте, құбырдың жасанды зақымдалуымен немесе топырақтың табиғи ығысуымен және шөгуімен байланысты, сонымен қатар құбырды дайындау кезінде ақаудың болуы және оны төсеу кезінде технологияның бұзылуы жоққа шығарылмайды. Жоғарыда аталған жағдайлардың кез келгені SU сейсмикалық датчиктерімен бекітілуі мүмкін тербелістерді тудырады [3, 240–259–б.б.].

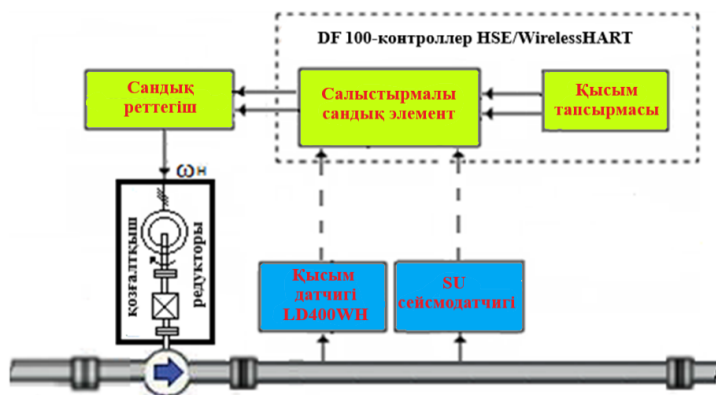
Магистральдық мұнай және газ құбырларындағы қысымға негізделген ағып кетуді оларды бақылау кезінде анықтаудың және оқшаулаудың әртүрлі әдістері бар [4, 75–бб. 5, 11–16–бб. 6, 443–456–бб.]. Біз ұсынатын әдіс ағып кетуді анықтау үшін машиналық оқытумен (ML) біріктірілген құбырдағы теріс қысым толқынын (NPW) таратылған енгізуді пайдаланады. Бұл әдіс WirelessHART сандық сымсыз технологиясына негізделген бірқатар маңызды артықшылықтарға ие [7, 51–бб.]. Сымсыз сенсорлық желілердегі бұл тапсырмаға орталықтандырылған тәсіл басқаруды басқару және деректерді жинаумен салыстырғанда енгізу шығындары аз болған кезде ақпаратты сандық беру жылдамдығы мен оның тығыздығында бірқатар артықшылықтарға ие [7, 51–б.б. 8, 537–б.б. 9, 148–б.б.].

Материалдар мен әдістері

Wireless HART сандық сымсыз қысым датчиктері қысымның өзгеруін бақылау үшін құбыр бойымен орнатылады, ал сейсмикалық датчиктер (SU) құбырдың зақымдануын уақтылы анықтау және ағып кетудің алдын алу мәселесін шешеді [1, 10, 2084–2096–бб.]. Газ құбыры зақымдалған жағдайда, SU датчиктері монитордағы нақты зақымдану орнын көрсете отырып, басқару орталығының операторына, сондай-ақ МГ желісі бойында орналасқан араласу командаларына сымсыз дабыл хабарламасын беруді қамтамасыз етеді. Дабылды жылжымалы компьютерге ала отырып, апатты жою үшін күзет көліктермен зақымдану аймағына жақын орналасқан араласу тобы шығады. Бұл ретте осы аймақта МГ газ беру тоқтатылады. SU датчиктері бір – бірінен шамамен 200-300 м қашықтықта орнатылады

және құбыр арқылы немесе құбырдың екі жағынан 10 м қашықтықта құбыр мен жер беті арасындағы тереңдікте орналастырылады, осылайша бірнеше датчиктердің блогын құрайды. Датчиктердің әр блогы аймақтың сипаттамаларына байланысты жеке идентификаторы бар дербес объект болып табылады (1 сурет).

WirelessHART қысым датчиктері деректерді радиоарна арқылы жібере алады, бұл оларды қызметкерлердің деректерді үздіксіз бақылау мүмкіндігі жоқ жағдайларда қолдануға ыңғайлы етеді. Екіншіден, датчиктерден алынған мәліметтер нақты уақыт режимінде жиналады және талданады. SimpliMote бағдарламасының алгоритмдері бұл деректерді DF100-HSE/WirelessHART™ контроллерінде өңдейтін, қысымның кез келген өзгерістеріне жедел жауап беруге және ықтимал апаттардың алдын алуға мүмкіндік беретін ағып кетудің тән белгілерін анықтау. Сонымен қатар, ағып кету анықталған жағдайда, жүйе операторға автоматты түрде хабарлайды және ағып кетуді жою әрекеттерін бастайды, бұл ықтимал шығындарды азайтады.



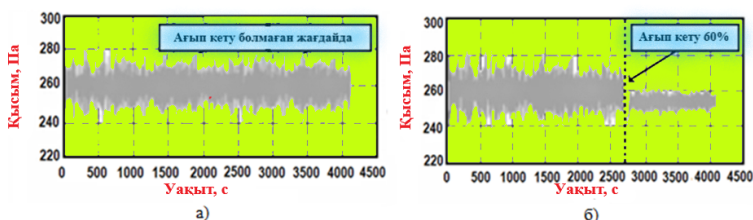
1-сурет – WirelessHART технологиясы негізінде магистральдық газ құбыры бойындағы газдың ағуын анықтау әдістемесіне құрылымдық сұлбасы

Осылайша, сандық басқаруды газ айдау станцияларына біріктіру тек жаңа басқару алгоритмдерін әзірлеуді ғана емес, сонымен қатар қысым деректерін талдау, басқару шешімдерін қабылдау және бұрыннан бар жүйелермен үйлесімділікті қамтамасыз ету үшін бағдарламалық қамтамасыз етуді қажет етеді [9, 148–б.б. 11, 2084–2096–б.б.12, 18–32–б.б.]. Сондықтан, Машиналық оқыту технологияларымен біріктірілген теріс қысым толқыны әдісі газды тасымалдауда жүйенің жоғары дәлдігі мен сенімділігін

камтамасыз ететін құбырлардағы газдың ағып кетуін анықтаудың тиімді шешімі болып табылады.

Нәтижелер және талқылау

Құбырдағы ағып кетулер мен жарылыстар құбыр ішіндегі сұйықтық бойымен өтетін қысым толқынының өтуіне әкеледі. Ағып кету нүктесі қарама-қарсы бағытта бірдей мөлшердегі өтпелі үдерістердің екі толқынын тудырады. Сұйықтықтың жоғары қысымына байланысты ағып кету өтпелі сигналда әлсіреуді тудырады, осылайша NPW тудырады. 2-суретте магистральдық құбырдағы қысымның осциллограммалары ағып кету болмаған кезде және ағып кетудің 60% болған кезде келтірілген.



2-сурет – Ағып кету болмаған кезде газ қысымы (а) және 60% ағып кету бар кезде уақытқа байланысты (б)

Құбырдағы газдың аздап ағуы кезінде ағып кету орнындағы қысым аздап төмендейді, бұл мұндай ағып кетуді анықтауды қиындатады. Қалыпты және қалыптан тыс жағдайлар арасындағы қысым айырмашылығы минималды және кестеде көрсетілген.

Кесте-1—Газдың әр түрлі ағып кетуіндегі параметрлердің салыстырмалы кестесі

Параметр	Шамалы ағып кету	Аса ағып кету
Қысымның төмендеуі	Елеусіз	Маңызды
Қысымның өзгеруі	Баяу	Жылдам
Қысым толқындарының амплитудасы	Кіші	Үлкен
Қысым толқындарының қарқындылығы	Төмен	Жоғары
Анықтау	Қиын	Жеңіл

Демек, қалыпты және қалыптан тыс жағдай арасындағы қысымның өте аз айырмашылығына байланысты баяу және аз ағып кету қиынырақ болады. Бұл жағдайда қысым мәніндегі газдың аз және үлкен ағуы арасындағы

негізгі айырмашылық қысымның өзгеру шкаласы мен жылдамдығында, сондай-ақ пайда болатын қысым толқындарының амплитудасы мен қарқындылығында.

WirelessHART қысым датчиктері арқылы ағып кету орнын анықтау үшін уақыт деректерін талдау және датчиктерді құбыр бойымен тарату әдісі қолданылады. Үдеріс бірнеше негізгі кезеңдерді қамтиды, олардың әрқайсысы жүйенің дәлдігі мен сенімділігін қамтамасыз етуде маңызды рөл атқарады.

WirelessHART қысым датчиктері құбыр бойымен бір-бірінен белгілі бір қашықтықта орнатылғандықтан, олар дербес бақылауға және нақты уақыттағы деректерді сымсыз жіберуге қабілетті, бұл олардың жоғары қозғалғыштығын және ағып кету орнын анықтау үшін пайдаланудың қарапайымдылығын қамтамасыз етеді. Уақыт деректеріне сүйене отырып, қысым толқынының ағып кету орнынан әр датчикке дейін қанша уақыт өтуі қажет екендігі есептеледі. Бұл ағып кетудің нақты орнын анықтауға көмектеседі. Бұл ретте жүйе сигналдың өту уақытын ескере отырып, құбырды аймақтарға бөледі және жақын орналасқан датчиктер LNPW функцияларын алатын және шлюздер арқылы деректерді орталық басқару жүйесіне жіберетін «сенсорлық қауымдастықтарды» құру үшін топтарға біріктіріледі.

Газдың ағып кету орнын анықтау үшін инженерлік гидравликадан келесі формулаларды қолдануға болады. Ағынның әртүрлі нүктелеріндегі қысымды, жылдамдықты және биіктікті байланыстыратын Бернулли теңдеуі. Газ құбырының мәнінде оны келесідей жазуға болады:

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g h_1 = P_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g h_2 + \Delta P_{тр}, \quad (1)$$

мұндағы $\Delta P_{тр}$ – үйкеліс салдарынан қысымның шығыны, Па;

P – қысым, Па;

v – газ ағысының жылдамдығы, м/с;

g – ауырлық күшінің үдеуі, 9,8 м/с² тең;

h – биіктік, м.

Қысымның айтарлықтай өзгеруі байқалатын орташа және жоғары қысымды газ құбырларының гидравликалық жүйелерін есептеу кезінде газ тығыздығының өзгеруі, оның жылдамдығы және температураның Цельсий бойынша нөлден ауытқуы сияқты әртүрлі параметрлерді ескеру қажет [13, 148-бб.]. Осы газ құбырларындағы үйкеліс күштерін жеңуге байланысты қысымның шығынын есептеу формулалары сәйкес келеді:

– орташа және жоғары қысымды газ құбырлары үшін

$$p_n^2 - p_k^2 = \frac{16}{\pi^2} \cdot \lambda \cdot \frac{G_0^2}{d^5} \cdot \rho_0 \cdot P_0 \cdot l \cdot \frac{T}{T_0}, \quad (2)$$

мұндағы p_n – газ құбырының басындағы абсолютті газ қысымы, МПа;

p_k – газ құбырының соңындағы абсолютті газ қысымы, МПа;

$P_0 = 0.101325$ МПа;

λ – гидравликалық үйкеліс коэффициенті;

G_0 – газ шығыны, м³/с, қалыпты жағдайда;

d – газ құбырының ішкі диаметрі, м;

ρ_0 – қалыпты жағдайда газдың тығыздығы, кг/м³;

l – тұрақты диаметрлі газ құбырының есептік ұзындығы, м;

T – газ температурасы, °С;

T_0 – қалыпты жағдайда газдың температурасы, 0° С.

Дарси-Вейсбах формуласы құбырлардағы үйкеліс салдарынан қысымның шығынын есептеу үшін қолданылады:

$$\Delta P_f = f \frac{L}{D} \cdot \rho \cdot \frac{v^2}{2}, \quad (3)$$

мұндағы ΔP_f – l газ құбыры аймағындағы гидравликалық кедергіні еңсеруге қысымның шығыны;

f – Дарси үйкеліс коэффициенті;

L – құбырдың ұзындығы, м;

D – құбырдың ішкі диаметрі, м;

v – газ қозғалысының жылдамдығы, м/с;

ρ – газдың тығыздығы, кг/м³.

Құбырдағы газ қозғалысының орташа жылдамдығы келесі өрнектен анықталады:

$$v = \frac{Q}{A}, \quad (4)$$

мұндағы Q – газдың көлемдік шығыны, м³/с;

A – құбырдың көлденең қимасының ауданы, м².

Ағынның жылдамдығына, құбырдың диаметріне және газдың тұтқырлығына байланысты оның ағыны ламинарлы болуы мүмкін, бұл бір-біріне қатысты сырғитын қабаттар түрінде реттелген қозғалысты немесе ағында құйындар пайда болатын және қабаттар араласатын турбулентті қозғалысты білдіреді.

Газ құбырындағы газдың қозғалысы белгілі бір формула бойынша газ температурасын ескере отырып есептелетін Рейнольдс санына байланысты:

$$Re = \frac{\rho v D}{\mu},$$

мұндағы ρ – газдың тығыздығы, кг/м³;

D – құбырдың ішкі диаметрі, м;

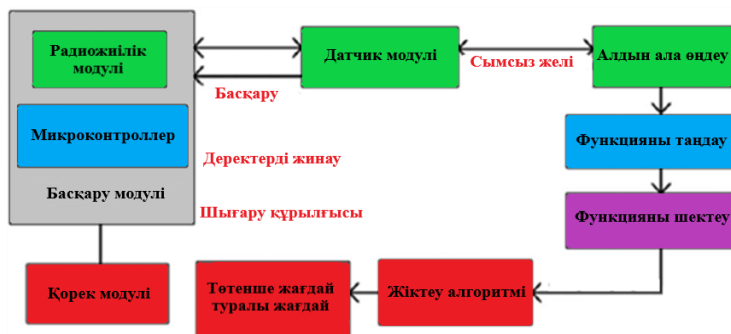
v – газдың орташа жылдамдығы, м/с;

μ – T температурадағы газдың динамикалық тұтқырлығы, м²/с.

Ламинарлы қозғалыстың турбулентті қозғалысқа өту аралығы критикалық деп аталады және $Re = 2000 - 4000$. $Re < 2000$ кезінде ағын ламинарлы, ал $Re > 4000$ кезінде турбулентті болады.

Жүргізілген талдаудан инженерлік гидравлика (1–5) формулалары магистральдық мұнай құбырларындағы (МҚ) мұнай қозғалысының режимдерін есептеу үшін де, магистральдық газ құбырларындағы (МГҚ) газ қозғалысының режимдері үшін де қолданылады.

Осылайша, МҚ-дағы мұнайдың ағып кетуіне ұқсас, МГҚ-дағы газдың ағыуы LD400WH датчиктерімен бекітілуі мүмкін теріс қысым толқындарын (NPWT) тудырады, содан кейін сәйкестендіріледі. Негізгі модульдерді қамтитын сызықтық сымсыз сенсорлық желілерге (LWSN) арналған ағып кетуді анықтау жүйесінің толық архитектуралық диаграммасы 3-суретте көрсетілген.



3-сурет—LWSN үшін ағып кетуді анықтау жүйесі

Бұл жүйе сонымен қатар -40 -тан $+80$ °C-қа дейінгі температура ауытқуларын TT400W датчиктерімен басқара алады және магистральдық газ құбырының SU сейсмикалық датчиктерімен зақымдануын жаза алады.

Магистральдық газ құбырының технологиялық параметрлерін бақылау үшін WirelessHART технологиясына негізделген SimpliMote сымсыз датчиктерін пайдалану ЭГАА электр жетегін басқаруды жаңа, жоғары сапалы деңгейге көтереді. SimpliMote қашықтан бақылау технологиясын пайдалану газ құбырының жай-күйін бақылауға және алаңдатарлық жағдайлар туралы уақтылы хабарлауға мүмкіндік береді. SimpliMote қосымшасының интерфейсі 4-суретте көрсетілген.

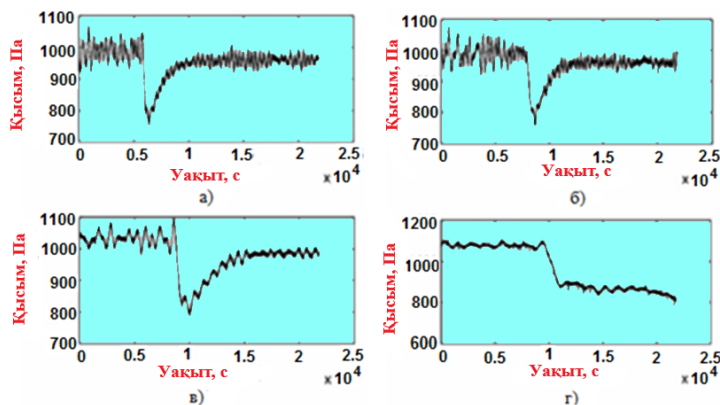
Бұл қосымша графикалық пайдаланушы интерфейсін, серверлік дерекқорды және аралық бағдарламалық құралды (БҚ) қамтиды. Қосымшаны танымал платформаларда дербес компьютерден немесе Android негізіндегі мобильді құрылғылардан басқаруға болады.

Интернет арқылы қосымшаға қол жеткізу үлкен артықшылық болып табылады, өйткені ол құбырдың күйін басқаруға және бақылауға мүмкіндік береді. Қосымша 4 күй параметрін ескереді: үдеу, батарея заряды, температура және қысым. Олардың көрсеткіштері одан әрі әрекет ету үшін шешім қабылдауға мүмкіндік береді.



4-сурет – SimpliMote қолданбасының пайдаланушы интерфейсі

Әр түрлі ағып кету қатынасы бар клапандарға арналған қысым кесіндері 5-суретте көрсетілген.



5-сурет – Пайыздық қысым кезінде ағып кету графиктері:

а) 25%, б) 50%, в) 75%, г) 100%

Әзірленген әдістеме мен ағып кетуді анықтау жүйесін тестілеу Ғұмарбек Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университетінің 122 Б корпусындағы зертханалық стендте жүргізілді [14, 58-бб.]. Сынақ қондырғысына диаметрі 7,62 см құбыр кіреді. Сығылған ағынды ортаны құбырға беру үшін қозғалтқыш пен резервуар қолданылады. Жасанды ағып кетуді жасау үшін әртүрлі мөлшердегі бес клапан қолданылады: 0,635 см, 1,27 см, 1,905 см, 2,54 см және 3,81 см. SimpliMote қысым датчиктері деректерді екі шлюз құрылғысы және бір деректерді тарату құрылғысы арқылы қосымша интерфейсінә жібереді.

Деректерді өңдеу дискретті Добеши түрлендірулерін қолдана отырып, шуды жоюды қамтыды, содан кейін деректер Калман сүзгісімен тегістелді. Содан кейін ағып кетудің жиілік компоненттерін анықтау үшін спектрлік талдау жүргізілді, ал оқытылған нейрондық желі әлеуетті ағып кетулерді жіктеу және анықтау үшін тазартылған және түрлендірілген деректерді талдады. Нәтижелерді растау және нақтылау үшін регрессиялық талдау қолданылды, бұл ағып кетудің орны мен мөлшерін дәлірек анықтауға мүмкіндік берді.

Осылайша, әдістің жоғары сезімталдығы тіпті аса шамалы ағып кетулерді анықтауға мүмкіндік береді, бұл жүйенің сенімділігін айтарлықтай арттырады. Сонымен қатар, әдіс ағып кетуді тез анықтауға мүмкіндік береді, өйткені олар пайда болған кезде құбырдағы қысым күрт төмендейді, бұл қысым толқындарының лезде пайда болуына әкеледі.

Бұл толқындар құбыр бойымен таралады, бұл ағып кетуді нақты уақытта анықтауға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, әдіс ресурстарды тиімді пайдалануды қамтамасыз ететін есептеу тапсырмаларын бөлу арқылы жүйеге жүктемені азайтады. Деректердің дәлдігі де маңызды артықшылық болып табылады, өйткені сандық датчиктер мен машиналық оқыту технологияларын пайдалану жаңылыс іске қосу санын азайтуға және жүйенің жалпы тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді.

Қорытынды

WirelessHART технологиясы жоғары сенімділігі, қауіпсіздігі және желінің өзін-өзі қалпына келтіру қабілетінің арқасында сымсыз бақылаудың негізгі құралы ретінде таңдалды.

Газдың ағып кетуін жедел анықтау және оқшаулау үшін құбырдағы қысымды бақылау әдістемесі әзірленді және сипатталды. Сымсыз датчиктерден алынған деректерді пайдаланатын алгоритмдер мен процедуралар ағып кетудің нақты орнын анықтау және оларды жою үшін жедел шаралар қабылдау үшін егжей-тегжейлі сипатталған. Сонымен қатар, ұсынылған әдіс ағып кетуді тез анықтауға мүмкіндік береді, өйткені олар пайда болған кезде құбырдағы қысым күрт төмендейді, бұл қысым толқындарының лезде пайда болуына әкеледі. Бұл толқындар құбыр бойымен таралады, нақты уақыт режимінде ағып кетуді анықтауға мүмкіндік береді, тіпті ең аз ағып кетуді анықтауда жоғары сезімталдықты қамтамасыз етеді және деректердің дәлдігі маңызды артықшылық болып табылады, өйткені сандық датчиктер мен машиналық оқыту технологияларын пайдалану жалған іске қосудың санын азайтуға және жүйенің жалпы сенімділігі мен тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді.

ПАЙДАЛАНҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

1 Технология WirelessHART™. article_334_280.pdf.

2 **Чныбаева, Д. М., Цыба, Ю. А., Кузьмин, Ю. В., Шыныбай, Ж. С., Алмуратова, Н. К.** Способ и система мониторинга технологических параметров магистральных трубопроводов. Патент на полезную модель РК №6773. Полное описание полезной модели к патенту доступно на официальном сайте www.kazpatent.kz в разделе «Государственный реестр полезных моделей Республики Казахстан» от 24.12.21.

3 **Chnybayeva, D. M., Tsyba, Yu. A., Almuratova, N. K.** Linear monitoring of the main pipeline by means of wireless digital technology. [Text] // NEWS of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan SERIES OF GEOLOGY AND TECHNICAL SCIENCES. -2023. – № 457. – P. 240–259. <https://doi.org/10.32014/2023.2518-170X.273>.

4 **Yang, S. H.** Wireless Sensor Networks. [Text] // Principles, Design and Applications. – New York, NY, USA: Springer, Oct. – 2013. – P. 75.

5 **Mohamed, N., Jaroodi, J. A., Jawhar, I., Eid, A.** «Reliability analysis of linear wireless sensor networks» [Text] // – in Proc. IEEE 12th Symp. Netw. Comput Appl. – 2013. – P.11–16.

6 **Salman, Ali., Adnan, Ashraf., Saad Bin, Qaisar.** SimpliMote: A Wireless Sensor Network Monitoring Platform for Oil and Gas Pipelines. [Text] // – In Proc. IEEE Symp. Wireless Telecomm. – 2016. – P. 443–456.

7 **Рахматулин, Н. М., Цыба, Ю. А.** Анализ и перспективы цифрового управления агрегатов газоперекачивающих станций. [Текст] // - Международный научный журнал «АКАДЕМИК». – 2024. – №1 (250). – С. 51.

8 Антропов, П. Г., Долинина, О. Н., Кузьмин, А. К., Шварц, А. Ю. Использование интеллектуальных систем для диагностики неисправностей газоперекачивающих агрегатов. [Текст] // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 6 (125). – С. 537.[Электронный ресурс]. – <https://science-education.ru/pdf/2013/6/537.pdf>.

9 **Широков, А. Н., Кожевников, А. В., Курбатов, В. И., Чукалкин, А. В.** Системы автоматического управления и регулирования газоперекачивающих агрегатов [Текст]. // Учебное пособие. – М. : Издательский центр «Академия». – 2018. – С. 148.

10 Датчик давления LD400WH. [Электронный ресурс]. – <https://www.smar.com.br/en/product/LD400WH-wireless-hart-pressure-level-and-flow-transmitters>.

11 **S. Kouro, M., Malinovski, K., Gopakumar, J., Pou, L. G., Franquelo, B., Wu, J., Rodriguez, M. A., Perez, J., Leon, L.** «Recent advances and industrial applications of multilevel converters» [Text] // IEEE Trans. Ind. Electron. – 2010. – № 8. – P. 2084–2096.

12 **Чныбаева, Д. М., Цыба, Ю. А., Шыныбай, Ж. С.** Компрессорлық станциялардың газ айдау агрегаттарының электр жетегін жаңғырту [Текст] // Вестник АУЭС. – 2022. № 2 (57). – С. 18–32.

13 **Комина, Г. П., Прошутинский, А. О.** Гидравлический расчет и проектирование газопроводов [Текст] // СПбГАСУ, – СПб. – 2010. – С.148.

14 **Цыба, Ю.А., Чныбаева, Д. М., Тойгожинова, Ж. Ж.** Частотно-регулируемый электропривод в АСУТП (методические указания по выполнению лабораторных работ для магистрантов специальности 7М07101 –Электрэнергетика) [Текст]. – Алматы: АУЭС. – 2024. – С. 58.

REFERENCES

- 1 Technologia WirelessHART™ [Text] // WirelessHART™ technology. article_334_280.pdf.
- 2 **Chnybayeva, D. M., Tsyba, Yu. A., Kuzmin, Yu. V., Shynybay, Zh.** Sposob i sistema monitoringa tekhnologicheskikh parametrov magistral'nykh truboprovodov. [Method and system for monitoring the technological parameters of main pipelines.] [Text] // Patent for utility model RK No. 6773. A full description of the utility model for the patent is available on the official website www.kazpatent.kz in the section «State Register of Utility Models of the Republic of Kazakhstan» dated 12/24/21.
- 3 **Chnybayeva, D. M., Tsyba, Yu. A., Almuratova, N. K.** Linear monitoring of the main pipeline by means of wireless digital technology. [Text] // NEWS of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan SERIES OF GEOLOGY AND TECHNICAL SCIENCES. – 2023. – № 457. – P. 240–259. – <https://doi.org/10.32014/2023.2518-170X.273>.
- 4 **Yang, S. H.** Wireless Sensor Networks. [Text] // Principles, Design and Applications. New York, NY, USA: Springer, Oct. – 2013. – P. 75.
- 5 **Mohamed, N., Jaroodi, J. A., Jawhar, I., Eid, A.** «Reliability analysis of linear wireless sensor networks,» [Text] // – in Proc. IEEE 12th Symp. Netw. Comput Appl., Aug. – 2013. – P. 11–16.
- 6 **Salman, Ali., Adnan, Ashraf., Saad Bin, Qaisar.** SimpliMote: A Wireless Sensor Network Monitoring Platform for Oil and Gas Pipelines. [Text] // – In Proc. IEEE Symp. Wireless Telecomm, Apr. – 2016. – P. 443–456.
- 7 **Rakhmatulin, N. M., Tsyba, Yu. A.** Analiz i perspektivy tsifrovogo upravleniya agregatov gazoperekachivayushchikh stantsiy [Analysis and prospects for digital control of gas pumping station units] [Text] // – International scientific journal «ACADEMIC». – 2024. – № 1(250). – P. 51.
- 8 **Antropov, P. G., Dolinina, O. N., Kuzmin, A. K., Shvarts, A. Yu.** Ispol'zovaniye intellektual'nykh sistem dlya diagnostiki neispravnostey gazoperekachivayushchikh agregatov [Using intelligent systems to diagnose faults in gas pumping units] [Text] // Modern problems of science and education. – 2013. – № 6 (125) – P. 537. [Electronic resource]. – <https://s.science-education.ru/pdf/2013/6/537.pdf>
- 9 **Shirokov, A. N., Kozhevnikov, A. V., Kurbatov, V. I., Chukalkin, A. V.** Sistemy avtomaticheskogo upravleniya i regulirovaniya gazoperekachivayushchikh agregatov [Automatic control and regulation systems for gas pumping units] [Text] // Study guide. – M: Publishing Center «Academy». – 2018. – P. 148.

10 Datchik davleniya LD400WH [Pressure sensor LD400WH]. [Electronic resource]. – <https://www.smar.com.br/en/product/LD400WH-wirelesshart-pressure-level-and-flow-transmitters>.

11 S. Kouro, M., Malinovski, K., Gopakumar, J., Pou, L., Franquelo, G. B., Wu., J., Rodriguez, M. A., Perez, J., Leon, L. «Resent advances and industrial applications of multilevel converters»[Text] // IEEE Trans.Ind.Electron. – 2010. – № 8. – P. 2084–2096.

12 Chnybayeva, D.M., Tsyba, Yu.A., Shynybay, Zh. S. Compressorlyk stationlardyn gas aidau aggregatetarynyn electric zhetegin zhangyrtu [Modernization of the electric power industry of gas pumping units of compressor stations] [Text] // AUES Bulletin. – 2022. №. 2(57). – P.18–32.

13 Komina, G. P., Proshutinsky, A. O. Gidravlicheskiy raschet i proyektirovaniye gazoprovodov [Hydraulic calculation and design of gas pipelines] [Text] // SPbGASU, – St. Petersburg. – 2010. – P.148.

14 Tsyba, Yu.A., Chnybayeva, D.M., Toygozhinova, Zh. Zh. Chastotno-reguliruyemyy elektropriwod v ASUTP [Variable-frequency electric drive in automated process control systems (methodological instructions for performing laboratory work for undergraduates in the specialty 7M07101 – Electrical power engineering)] [Text] // – Almaty : AUES. – 2024. – P. 58.

Received 15.02.25.

Received in revised form 30.05.25.

Accepted for publication 05.09.25.

*Д. М. Чныбаева¹, Ю. А. Цыба²

^{1,2}Алматинский университет энергетики и связи имени

Гумарбека Даукеева, Республика Казахстан г. Алматы.

Поступило в редакцию 15.02.25.

Поступило с исправлениями 30.05.25.

Принято в печать 05.09.25.

МОНИТОРИНГ УТЕЧКИ ГАЗА В МАГИСТРАЛЬНОМ ТРУБОПРОВОДЕ ПО ТЕХНОЛОГИИ WIRELESSHART

В статье решается актуальная проблема по определению утечки газа при его транспортировке в магистральном газопроводе (МГ), путём мониторинга волны отрицательного давления в трубопроводе (NPW). Научная новизна данного мониторинга заключается в том, что волны отрицательного давления распространяясь вдоль трубопровода контролируются по всей его длине цифровыми датчиками давления

беспроводной интеллектуальной системой Wireless HART. Применение данной системы позволяет обнаружить утечку газа практически в реальном времени обеспечивая высокую чувствительность даже самых незначительных утечек, а точность данных, является важным преимуществом, поскольку использование цифровых датчиков и технологий машинного обучения позволяет минимизировать количество ложных срабатываний и повысить общую надёжность и эффективность системы. Данный мониторинг позволяет выявить не только утечку газа, но и локализовать её в точке утечки на базе технологии WirelessHART. Приведена полная архитектурная диаграмма системы обнаружения утечек для линейных беспроводных сенсорных сетей (LWSN), включающая основные модули, а также представлен интерфейс приложения SimpliMote, который включает в себя графический интерфейс пользователя, серверную базу данных и промежуточное программное обеспечение. При этом управлять приложением можно на популярных платформах с персонального компьютера или мобильных устройств на базе Android. Технология WirelessHART была выбрана в качестве основного инструмента для беспроводного мониторинга благодаря своей высокой надёжности, безопасности и способности к самовосстановлению сети.

Ключевые слова: компрессорная станция, магистральный газопровод, утечка беспроводной датчик, цифровое управление, газоперекачивающий агрегат, асинхронный двигатель.

**D. M. Chnybayeva¹, Yu. A. Tsyba²*

^{1,2}Almaty University of Energy and Communications named after Gumarbek Daukeyev, Republic of Kazakhstan, Almaty.

Received 15.02.25.

Received in revised form 30.05.25.

Accepted for publication 05.09.25.

MONITORING OF GAS LEAKAGE IN THE MAIN PIPELINE USING WIRELESSHART TECHNOLOGY

The article solves the urgent problem of determining gas leakage during its transportation in the main gas pipeline (MP) by monitoring the negative pressure wave in the pipeline (NPW). The scientific novelty of this monitoring lies in the fact that negative pressure waves propagating along the pipeline are monitored along its entire length by digital pressure sensors from the wireless intelligent Wireless HART system. The use

of this system makes it possible to detect gas leaks in almost real time, ensuring high sensitivity of even the smallest leaks, and data accuracy is an important advantage, since the use of digital sensors and machine learning technologies minimizes the number of false alarms and increases the overall reliability and efficiency of the system. This monitoring allows you to detect not only a gas leak, but also to localize it at the leak point based on WirelessHART technology. A complete architectural diagram of a leak detection system for linear wireless sensor networks (LWSN), including the main modules, is provided, as well as the SimpliMote application interface, which includes a graphical user interface, a server database, and middleware. At the same time, the application can be controlled on popular platforms from a personal computer or Android-based mobile devices. WirelessHART technology has been chosen as the primary tool for wireless monitoring due to its high reliability, security, and network self-repair capability.

Keywords: compressor station, main gas pipeline, leakage wireless sensor, digital control, gas pumping unit, asynchronous motor.

Теруге 09.09.2025 ж. жіберілді. Басуға 30.09.2025 ж. қол қойылды.

Электронды баспа

29.9 Mb RAM

Шартты баспа табағы 22,2. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: А. К. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Тапсырыс № 4447

Сдано в набор 09.09.2025 г. Подписано в печать 30.09.2025 г.

Электронное издание

29.9 Mb RAM

Усл. печ. л. 22,2. Тираж 300 экз. Цена договорная.

Компьютерная верстка: А. К. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Заказ № 4447

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

67-36-69

E-mail: kereku@tou.edu.kz

www.vestnik-energy.tou.edu.kz