

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

№ 2 (2023)

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/ABAC7746>

Бас редакторы – главный редактор

Кислов А. П.

к.т.н., доцент

Заместитель главного редактора

Талипов О. М., *доктор PhD, доцент*

Ответственный секретарь

Приходько Е. В., *к.т.н., профессор*

Редакция алқасы – Редакционная коллегия

Клецель М. Я., *д.т.н., профессор*
Новожилов А. Н., *д.т.н., профессор*
Никитин К. И., *д.т.н., профессор (Россия)*
Никифоров А. С., *д.т.н., профессор*
Новожилов Т. А., *к.т.н., доцент (Россия)*
Оспанова Н. Н., *к.п.н., доцент*
Нефтисов А. В., *доктор PhD, доцент*
Шокубаева З. Ж. *технический редактор*

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

***Д. М. Чныбаева¹, Ю. А. Цыба²**

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

*e-mail: danna_shyn@mail.ru; d.chnybaeva@aes.kz

СЫМСЫЗ ЦИФРЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯ ҚҰРАЛДАРЫМЕН МАГИСТРАЛЬДЫҚ ҚҰБЫРДЫҢ ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ ЖӘНЕ ТЕХНИКАЛЫҚ МОНИТОРИНГІ

Әдеби патенттік зерттеулердің негізінде зияткерлі сымсыз өлшеуіштер базасында айдалатын ортаның (мұнай немесе газ) түріне қарамастан, магистральдық құбырдың (МҚ) технологиялық және техникалық мониторингі элементтерінің қолайлы радиорелелік байланыс желісі бойынша өлшенген деректерді нақты уақыт режимінде бере отырып, компрессорлық және сорғы станцияларының электр жетектерінің сандық инвариантты жиіліктік-реттелетін электр жетегімен ауытқу әсерлерді шектейтін жүйе ұсынылды.

Сымсыз сенсорлық технологияны сандық жоғары вольтты жиілікпен реттелетін электр жетегіне (ЖРЭЖ) біріктіру МҚ бүкіл ұзындығы бойынша айдау ортасының қысымы мен температурасының шамаларын автоматты түрде бақылауға және оңтайландыруға, сондай-ақ оның тұтастығын бақылауға және зияткерлі сымсыз өлшеуіштермен өлшенетін берілген және ағымдағы деректер мәндерін салыстыруға, стохастикалық сипаттағы жағымсыз әсерлердің параметрлеріне байланысты тасымалданатын газдың немесе мұнайдың ағып кетуін уақтылы анықтауға мүмкіндік береді. Сондықтан жүйе сымсыз діріл өлшеуіштерімен жабдықталған, олар нақты және нақты қауіп анықталған кезде ғана операторларға дабыл беруге арналған. Дабылды қабылдау араласу тобы және патрульдік көліктердегі күзетшілер апатты дереу жоюға кіріседі.

Компрессордың электр қозғалтқышының қажетті айналу жылдамдығын есептеу және МҚ-да табиғи газдың қажетті қысымын алу үшін компьютерлік модель жасалды. MATLAB Simulink бағдарламасында компьютерлік модельде жүргізілген зерттеулер, статикалық және динамикалық режимдер МГ

мониторингі жүйесінің түзету сигналының қажетті мәндерін және оларды оңтайландыру мақсатында МГ-ғы газ қысымы мен температурасының технологиялық параметрлерінің ауытқу өзгерістеріне барынша сезімталдық қамтамасыз етілетін ЭГАА электр жетегінің жылдамдығы бойынша кері байланысты күшейту коэффициентін анықтауға мүмкіндік береді.

Кілтті сөздер: магистральдық газ құбыры, компрессорлық станция, газ айдау агрегаты, электр жетегі, жиілікті түрлендіргіш, асинхронды қозғалтқыш, технологиялық мониторинг.

Кіріспе

Магистральдық газ құбырларын (МҚ) және магистральдық мұнай құбырларын (ММҚ) жатқызуға болатын магистральдық құбырлардың (МҚ) қауіпсіз жұмысының негізі газдың немесе мұнайдың қысымы мен температурасын бақылау, сондай-ақ газ не мұнайдың шығып кетуін уақтылы анықтау есебінен шығындарды азайту болып табылады (1 %-дан аспайды). Сондай-ақ, кен орындары мен түпкілікті тұтынушы арасындағы мұнай мен газ өндірудің барлық инфрақұрылымы аясында МҚ желісі терроризмге, қасақаналыққа және ұрлыққа әрқашан бейім болғанын, оның кең және үлкен ұзындығын ескере отырып, жүздеген және мыңдаған шақырымға дейін болғанын атап өткен жөн. Сонымен қатар, осы уақытқа дейін осындай факторлардың әсерінен болатын зияннан қорғаудың тиімді шешімі болған жоқ.

Өлшеуіштермен (мысалы, температура, қысым, жарық, діріл деңгейі, орналасқан жері және т.б.) берілген жиілік арақашықтығында, сымсыз сенсорлық технологияны біріктіру жұмыс істейтін таратқыштармен жабдықталған және шағын есептеу мот құрылғыларына негізделген, сандық жоғары вольтты жиілікпен реттелетін электр жетегі магистральдық құбырдың бүкіл ұзындығы бойынша технологиялық параметрлерді автоматты түрде басқаруға және оңтайландыруға мүмкіндік береді.

Сондықтан, сымсыз сенсорлық мониторинг және компрессорлық станциялардың (КС) немесе сорғы станцияларының (СС) сандық жиілікті реттелетін электр жетегі арқылы технологиялық параметрлерді оңтайландыру және МҚ тұтастығын бақылау өзекті ғылыми - техникалық міндет болып табылады.

Материалдар мен әдістер

Сандық көп деңгейлі жоғары вольтты жиілік түрлендіргіштері (ЖТ) және шағын есептеу мот құрылғылары негізінде КС-ң немесе СС-ң асинхронды жиілікті реттелетін электр жетегі және МҚ технологиялық параметрлерін мониторингтеу жүйесі болып табылады.

Зияткерлік сымсыз қысым, температура өлшеуіштері және сейсмикалық өлшеуіштері негізінде МҚ бойынша айдалатын ортаның (мұнай немесе газ) түріне қарамастан, технологиялық параметрлердің сызықты мониторингімен айдау агрегаттарының (АА) электр жетегін автоматты басқарудың инвариантты жүйесін әзірлеу, бұл осы параметрлердің ауытқуларын бақылауға және жоюға, сондай-ақ МҚ кез келген жұмыс режимдерінде газдың шығып кету мен зақымдану жағдайларын анықтауға мүмкіндік береді.

Әдеби - патенттік зерттеулер негізінде зияткерлік сымсыз өлшеуіштерді пайдалану отырып, технологиялық және техникалық мониторинг элементтерінің оңтайлы конфигурациясы және айдалатын ортаның (мұнай немесе газ) түріне қарамастан, сандық инвариантты жиілікпен реттелетін КС немесе СС электр жетегімен қалыпсыз ауытқу әсерлерді жоя отырып, нақты уақыт режимінде радиорелелік байланыс желісі бойынша өлшенген деректерді беру ұсынылды. Әзірленген жүйені модельдеу, талдау және синтездеу үшін MATLAB бағдарламаланатын кешені пайдаланылды.

МГ-ң компрессорлық станциялары мен ММ-ң сорғы станциялары энергетикалық жабдықтармен жабдықталған, АА айдау агрегатының көмегімен сұйық немесе газ тәрізді ортаны тасымалдауды қамтамасыз ететін МҚ ажырамас және құрамдас бөлігі болып табылады және МҚ жүйесінде басқару элементі ретінде қызмет етеді. Бұл МҚ-ң жұмыс режимін анықтайтын және сұйық және газ тәрізді орталарды тасымалдау өнімділігіне, станциялардың (компрессорлық немесе сорғы) жұмысының технологиялық параметрлеріне (қысым, температура, діріл) әсер етеді [1].

Сорғы ортасы МҚ-ң бойымен қозғалған кезде, ағынның құбыр қабырғасына үйкелісіне байланысты қысым шығыны болатыны белгілі. Қысымның төмендеуі МҚ-ң өткізу қабілетінің төмендеуіне әкеледі және сонымен бірге тасымалданатын ортаның температурасын төмендетеді. Айдау ортасының берілген шығынын ұстап тұру және құбырдағы оңтайлы қысымды қамтамасыз ету үшін айдау ортасының түріне байланысты МҚ трассасы бойымен белгілі бір қашықтықтар арқылы КС немесе СС орнатылады. Мысалы, тәулігіне 90 млн. м³/ тәулігіне газ айдау кезінде, диаметрі 1400 мм құбыр бойымен ұзындығы 110 км аймақта, қысым 7,6-дан 5,3 МПа-ға дейін төмендейді. Компрессорлық станцияларда (КС) газ қысымын арттыру ортадан тепкіш үдеткіштердің көмегімен бір, екі немесе үш сатыда жүзеге асырылады. Бұл ретте МҚ-ң оңтайлы жұмыс режимі оның өткізу қабілетін айдау және тасымалдауға жұмсалатын ең аз энергия шығыны кезінде барынша пайдаланудан тұрады. Газды МҚ-мен тасымалдау кезінде газдың шығып кету жағдайында оның қысымы мен температурасының қалыптан тыс өзгеруі мүмкін екенін атап өткен жөн. Технологиялық сұлба мұнайды тасымалдау, өзінің бірқатар ерекшеліктеріне ие бола отырып, бүкіл ММ

трассасының бойында мұнайдың шығып кетуін анықтайтын қысым мен температура сияқты технологиялық параметрлерді бақылауға ұқсас талаптар қояды [1].

Сондықтан параметрлерді бақылау МҚ немесе оның жабдықтары үшін қауіпті жұмыс режимі туындауы мүмкін технологиялық сұлбаның барлық нүктелерінде орындалуы керек. Үдерістің барысын бақылауға және автоматты қорғауға арналған технологиялық параметрлерді өлшеу нүктелері әдетте сәйкес келеді.

МҚ-ң негізгі технологиялық параметрлерін қашықтықтан басқару керек, оларға мыналар жатады:

- құбыр ішіндегі газ немесе мұнай қысымы;
- газ немесе мұнай температурасы және температура әсерлері;
- сейсмикалық және діріл әсерлері.

Қазіргі уақытта мұнай - газ саласында электр жетегін бақылау және басқару үшін қолданылатын сымды және сымсыз ақпарат беру құралдары бар [2, 3, 4, 5].

Алайда, қазіргі уақытта МҚ мониторингінің көптеген әдістері мен құралдарына қарамастан, олар тек айдалатын ортаның технологиялық параметрлерін ғана емес, сонымен қатар оның техникалық жағдайын да тиімді бақылауды қамтамасыз етпейді.

Нәтижелер мен талқылаулар

Технологиялық параметрлерді бақылау бойынша ең жақын техникалық шешім - МҚ-ң әрбір желілік аймағының басында барлық (КС) орнатылған жиілікті реттелетін электр жетекті газ айдау агрегаттары (ЭГАА) және ауаны салқындату аппараттарының (АСА) желдеткіштері арқылы сығылған газ ағынының қысымы мен температурасын қалыптастырудан тұратын газды магистральдық тасымалдау тәсілі болып табылады [6]. Бұл ретте құбырдағы газ қысымы мен температурасының ағымдағы мәндеріне, газ қысымы мен температурасының өлшеуіштерімен өлшенетін газ қысымы мен температурасының ағымдағы мәндеріне, қысым мен температураның берілген параметрлеріне, сондай-ақ стохастикалық сипаттағы Мазалайтын әсерлердің параметрлеріне байланысты ЭГАА және АСА көмегімен газ қысымы мен температурасының шамалары автоматты түрде орнатылады және біркелкі реттеледі. Бұл жүйенің кемшілігі – қысым мен температура тек КС шығысында бақыланады, бірақ олардың нақты мәндері бүкіл МҚ жолында ескерілмейді, сонымен қатар МҚ зақымданған және оны тасымалдау кезінде газ шығып кеткен жағдайда құбырдағы газ қысымы мен температурасының қалыптан тыс өзгеруін бақылау жүргізілмейді.

Осы мақалада қарастырылған технологиялық параметрлерді бақылаудың ең жақын техникалық шешімі – магистральді газ (МГ) құбырының әрбір

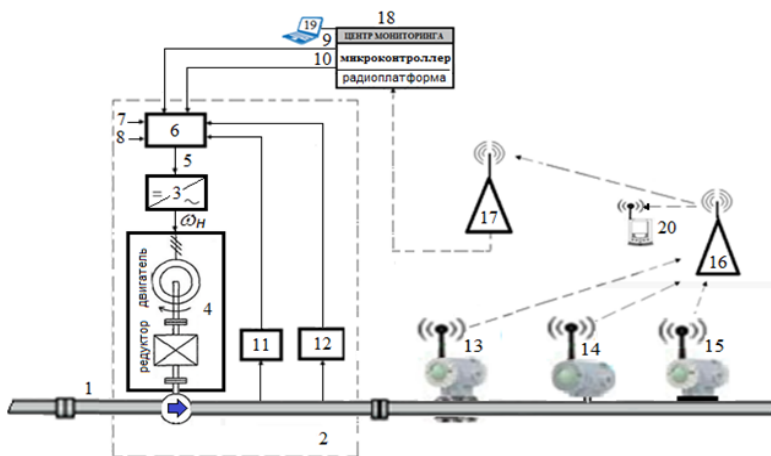
желілік аймағының басында барлық компрессорлық станцияда (КС) орнатылған жиілікті реттелетін электр жетекті газ айдау агрегаттары (ЭГАА) мен ауаны салқындату аппараттарының желдеткіштері (АСА) арқылы сығылған газ ағынының қысымы мен температурасын қалыптастырудан тұратын газды магистральдық тасымалдау әдісі болып табылады [6]. Бұл ретте құбырдағы газдың қысымы мен температурасының ағымдағы мәндеріне, газдың қысымы мен температурасының өлшеуіштерімен өлшенетін, берілген қысым параметрлері мен тиісті (МГ) аймағының температурасына, сондай-ақ стохастикалық сипаттағы ауытқу әсерлердің параметрлеріне байланысты ЭГАА және АСА көмегімен газдың қысымы мен температурасының шамалары автоматты түрде орнатылады және біркелкі реттеледі. Бұл жүйенің кемшілігі – қысым мен температура тек КС шығысында бақыланады, бірақ олардың нақты мәндері бүкіл МГ жолында ескерілмейді, сонымен қатар МГ зақымданған және оны тасымалдау кезінде газдың шығып кеткен жағдайда құбырдағы газ қысымы мен температурасының қалыптан тыс өзгеруін бақылау жүргізілмейді.

Бүкіл әлемде жоғары сапалы және сандық дамуға қол жеткізген сандық радиорелелік желілерді (РРЖ) дамыту қазіргі уақытта жиіліктің белгілі бір диапазонында жұмыс істейтін сандық сенсорлар мен таратқыштармен жабдықталған миниатюралық есептеуіш мот құрылғыларынан тұратын сымсыз сенсорлық желілерді дамытуда өте қажет буын болды. Әрбір мот өлшеу жүргізуге, деректерді бастапқы өңдеуді дербес жүргізуге және сыртқы ақпараттық жүйемен байланыста болуға мүмкіндік береді. Сымсыз желіге біріктірілген өлшеуіштер ақпаратты жинау, өңдеу және берудің аумақтық бөлінген, өзін-өзі ұйымдастыратын жүйесін құрайды. Икемді архитектура, орнату шығындарының төмендеуі зияткерлік өлшеуіштердің сымсыз желілерін сымды деректер интерфейстерінен ажыратады, әсіресе бір-бірімен байланысқан көптеген құрылғыларға қатысты. Қолданылатын өлшеуіштер күрделі жағдайларда жұмыс істей алатындығын атап өткен жөн, мұнда қызметкерлермен алған деректерді үнемі бақылау мүмкін емес, ал жоғары дәлдік пен беру жылдамдығы жанартудың аз уақытымен (WSN) қамтамасыз етіледі [7, 8].

Сымсыз сенсорлық технологияны сандық жоғары вольтты жиілікті реттелетін электр жетегіне (ЖРЭ) біріктіру МК бүкіл ұзындығы бойынша айдау ортасының қысымы мен температурасының шамаларын автоматты түрде бақылауға және оңтайландыруға, сондай-ақ оның тұтастығын бақылауға және тасымалданатын газдың немесе мұнайдың шығып кетуін уақтылы анықтауға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, қазіргі уақытта шетелдік және ресейлік фирмалар шығаратын жоғары вольтты жиілік түрлендіргіштерін (ЖВЖТ) талдау көрсеткендей, микропроцессорлық басқарумен дербес кернеу инверторының (КДЖВЖТ) түрі бойынша зияткерлік бір фазалы төмен вольтты ЖР каскадты байланысы бар көп деңгейлі топология болашағы мол болып табылады [9, 10].

Жоғарыда айтылғандарға сәйкес, осы мақаланың авторлары нақты уақыт режимінде МҚ технологиялық және техникалық мониторинг әдісі мен жүйесін ұсынды, бұл бақылаудың дұрыстығын арттыра отырып, МҚ жұмысының кез келген режимі кезінде басқару тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді, апаттық жағдайларды болдырмайды және осылайша мұнай құбырларын немесе газ құбырларын пайдалану қауіпсіздігін қамтамасыз етеді [11].

1 суретке сәйкес магистральдық құбырлардың технологиялық параметрлерін мониторингтеу жүйесі келтірілген, 2 – айдау станциясы, айдау ортасының түріне байланысты: КС – газ құбырлары үшін, МС – мұнай құбырлары үшін арналған. 2 – айдау станциясы 1 – МҚ әрбір желілік аймағында орнатылады және 3 – микропроцессорлық басқарылатын ҚДЖВЖТ және 6 – реттеу параметрлерін есептеу блогы бар 4 – АА-мен жабдықталған. Сондай-ақ, жүйеде өлшеуіш жиынтығы 11, 12 байланыс өлшеуіштерінен, станцияның шығуындағы айдалатын ортаның нақты қысым мен температура мәндерін және магистральдық құбырдың диагностикалық нүктелеріндегі сымсыз сандық 13, 14, 15 қысым, температура және діріл өлшеуіштерінен тұрады. Жүйеге МҚ трассасының бойында орнатылған 16 радиорелелік релелік станциялар және 19 жүйелік компьютерге қосылған және де радио платформасы бар микроконтроллермен жабдықталған, 18 мониторинг орталығы орнатылған диспетчерлік пункттің жанында орналасқан радиорелелік жабдығы бар 17 базалық станция кіреді. МҚ зақымдану орнын 20 тасымалды далалық компьютерлер анықтайды.



Сурет 1 – МҚ бір сызықтық аймағында технологиялық параметрлерді мониторингтеудің сымсыз желісінің құрылымдық сұлбасы

МҚ бүкіл ұзындығы бойынша технологиялық параметрлерді мониторингтеу тәсілі мынада: 13, 14 сандық өлшеуіштерден және айдалатын ортаның температурасынан радиосигналдың көмегімен алынған деректер 16 релелік радиорелелік станциялар арқылы 17 базалық станцияға 18 мониторинг орталығына беріледі, МҚ жолының бойындағы тиісті нүктелерде, микроконтроллер микропроцессорында процессордың жадында сақталған қысым мен температураның тиісті номиналды мәндерімен салыстырылады.

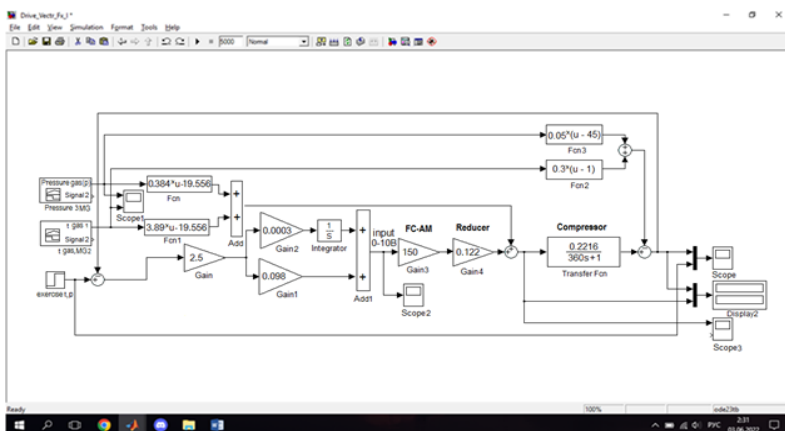
Нәтижесінде осы параметрлердің ауытқулары болған жағдайда 9 қысым мен 10 температура бойынша түзету сигналдары есептеледі. Бұдан әрі 9 және 10 түзету сигналдары 6 реттеу параметрлерін есептеу блогына беріледі, ол 7 қысымның және 8 температураның берілген мәндерін станциялардың шығысында орнатылған 11, 12 байланыс өлшеуіштерінен қысым мен температура мәндерімен салыстыра отырып, 5 басқару сигналы көп деңгейлі жоғары вольтты 3 – ҚДЖВ түрлендіргішіне беріледі. МҚ технологиялық параметрлерінің күйін ескеретін 5 басқару сигналы айдау агрегатының АҚ (өң) айналу жиілігін түзетеді, осылайша айдалатын ортаның қысымы мен температурасын берілген мәндерге келтіреді. Технологиялық параметрлердің жоғарыда аталған барлық мәндерін есептеу нәтижелері бойынша МҚ бүкіл трассасында қысым мен температураны оңтайландыру мақсатында айдау агрегатының АА айналу жылдамдығын басқару мүмкіндігі жүзеге асырылады. Сонымен қатар, алынған деректерді есептеу нәтижесінде диспетчердің 19 жүйелік компьютеріне шығарылатын апаттық аймақтарды есептеумен параметрлердің қалыпсыз ауытқулары анықталады.

15 діріл өлшеуіші операторларға дабыл беруге, нақты және нақты қауіп анықталған кезде ғана арналған. Белгілі бір идентификаторы бар өлшеуіштің сезімтал блогынан радиожилілік байланысы арқылы жіберілген дабылды басқару орталығының операторы қабылдайды және 19 жергілікті компьютерде және 20 тасымалды далалық компьютерлерде апат орны карта түрінде көрсетіледі. Дабыл алған кезде араласу тобы (сызық бойында орналасқан) және патрульдік көліктердегі күзетшілер апатты дереу жоюға кіріседі.

Ұсынылған жүйенің артықшылығы технологиялық үдерістің жоғары энергия тиімділігі болып табылады, ол жиілікті реттелетін электр жетекті АА-мен қамтамасыз етіледі, сонымен қатар құбырдың тұтастығын анықтау үшін оның техникалық жағдайын бақылаудың сенімділігі, бұл кез-келген жұмыс режимінде оның пайдалану қауіпсіздігін арттырады.

Қазіргі уақытта сандық ЭЕМ, кең мақсаттағы заманауи әдістермен зерттеу жүргізуге мүмкіндік беретін әмбебап бағдарламалық құралдармен жабдықталған. Атап айтқанда, мұндай құралдарға MATLAB Simulink бағдарламаланатын кешені – блоктар кітапханасына және басқару немесе реттеу объектісінің математикалық моделіне негізделген динамикалық жүйелерді модельдеуге, талдауға және синтездеуге арналған интерактивті құрал [12, 13].

Технологиялық параметрлерді басқару мен бақылаудың сәйкестігін тексеру үшін жүйенің символдық түрдегі қозғалысының математикалық сипаттамасы беріледі және оның орнықтылығын анықтау бағдарламасы келтіріледі, ол Simulink пакетінде виртуалды модельдеуді жүзеге асыруға мүмкіндік беретін ЭГАА ЖТЖ үшін Matlab алгоритмдік тілінде ұсынылған [14]. 2 суретте ЭГАА АБЖ виртуалды моделінің құрылымдық сұлбасы келтірілген, мұнда ЭГАА ЖТЖ басқару арналарының параметрлері және газдың шығыс қысымы бойынша кері байланыс газ тасымалдау жүйелері мен КС МҚ нақты іске асыруларына жеке беріледі. Бұл жағдайда сандық деректер бес агрегаттық электр жетегінің нұсқаларының біріне сәйкес келеді, ал модельдің тікелей басқару арнасының барлық динамикалық байланыстарының берілу функциялары [15, 16] алынған өрнектерге сәйкес келеді.



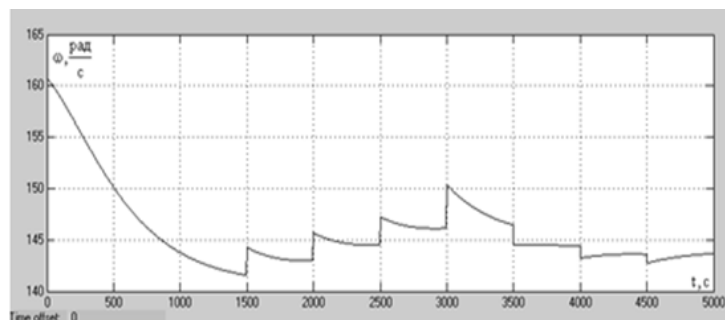
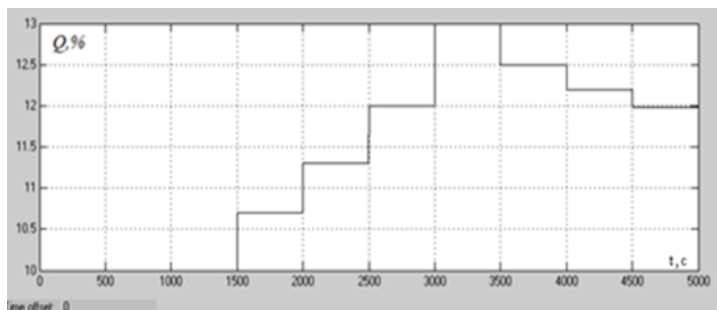
Сурет 2 – ЭГАА АБЖ моделінің құрылымдық диаграммасы және ақаулар болған кезде МҚ технологиялық параметрлерін мониторингтеу

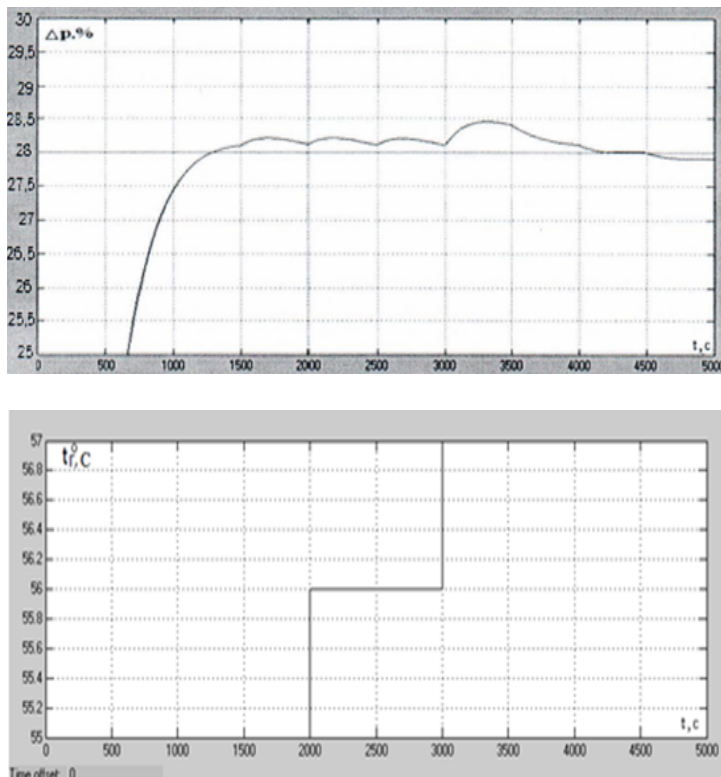
ЭГАА-дағы ақаулықтардың әсерін имитациялау үшін жүйеге температура мен газ қысымының өсуін қамтамасыз ететін екі функционалды түрлендіру блогы енгізілді.

Қолданылатын сыртқы әсерлердің сызықтығы тәулік бойы минут-сағат ішінде айтарлықтай өзгертін климаттық, табиғи немесе метеорологиялық факторларға тән стохастикалық ақауларға тән. Технологиялық ақаулар анағұрлым динамикалық, бірақ олардың газ тасымалдау жүйелерінің жылу техникалық және гидродинамикалық қасиеттеріне байланысты инерциясы бірнеше рет жылдам электромеханикалық бөліктің инерциясымен салыстыруға келмейді.

Сондықтан ЭГАА АБЖ-дағы сыртқы өлшеуіштерден деректерді оқу белгілі бір дискреттілікпен жүреді, ол бір жағынан техникалық орындылығымен және КС АБЖ бағдарламалық қамтамасыз ету пакетінің нақты функционалдылығымен және екінші жағынан барлық КС жүйелерін бақылаудың сервистік өнімдерімен қанықтылығымен анықталады. Басқару жүйесіндегі барлық есептеулер ЕИМ кезеңімен басқару жүйесін дискретизация аралығы болып табылатын бір кезеңінде жүргізілуі керек. Бұл жағдайда басқару объектісінің математикалық моделі (қысқа тұйықталған роторы бар асинхронды қозғалтқыш) бірдей кванттау аралығына ие болуы керек.

Газ тасымалдау жүйесіндегі нақты ақаулар біртіндеп өзгереді. Әсер ету сатысы ақпаратты түсірудің және ЭГАА-ның берілген айналу жылдамдығын есептеудің осы дискреттілігін айқын көрсетеді (3 сурет).





Сурет 3 – Ақпаратты дискретті түсірудің ЭГАА жұмысын модельдеу

Көріп отырғаныңыздай, осциллограммалар (3 сурет) газды тұтынудың жоғарылауымен $Q\%$ компрессордың өнімділігі артады, оның айналымдарының санын көбейту арқылы ($\omega^1/\text{рад}$), газ қысымы ($\Delta p\%$) бастапқы сәтте МҚ-да біршама артады, содан кейін оны тұрақтандырады. Бұл жағдайда газдың температурасы (t^0, C) МҚ-да сәйкес жоғарылайды [1].

Осылайша, модельдеу бойынша жүргізілген зерттеулердің нәтижесінде негізгі технологиялық параметрдің ауытқуын – табиғи газдың МҚ-дағы қысымын тіркейтін және кейіннен оны тұрақтандырумен қажетті қысымды алу үшін ЭГАА электр қозғалтқышының қажетті айналу жылдамдығын есептеуге мүмкіндік беретін компьютерлік модель жасалғанын айтуға болады. Дербес компьютерде (ДК) іске асырудың дәлдігі мен қарапайымдылығы бойынша қолайлы сызықтық модель болып табылады.

Қорытынды

Компрессорлық немесе сорғы станцияларының сандық инвариантты жиілік-реттелетін электр жетегімен қалыпсыз ауытқу әсерлерді жою отырып, нақты уақыт режимінде радиорелелік байланыс желісі бойынша өлшенген деректерді бере отырып, зияткерлік сымсыз өлшеуіштер базасында айдалатын ортаның (мұнай немесе газ) түріне қарамастан магистральдық құбырдың (МҚ) технологиялық және техникалық мониторингі элементтерінің оңтайлы конфигурациясы ұсынылды. Мониторинг жүйесі сонымен қатар, магистральдық құбырдың кез келген жұмыс режимінде газдың не мұнайдың шығып кету және зақымдану жағдайларын анықтауға мүмкіндік береді.

MATLAB Simulink бағдарламаланатын кешенінің ортасында компьютерлік модельде жүргізілген зерттеулер, статикалық және динамикалық режимдер МҚ мониторингі жүйесінің түзету сигналының қажетті мәндерін және оларды оңтайландыру мақсатында МҚ-дағы газ қысымы мен температурасының технологиялық параметрлерінің қалыптан тыс өзгерістеріне барынша сезімталдық қамтамасыз етілетін ЭГАА электр жетегінің жылдамдығы бойынша кері байланысты күшейту коэффициентін анықтауға мүмкіндік берді.

Жүйенің өтпелі кезеңдерінің уақытша диаграммалары алынды, оның өзгеретін сыртқы жағдайларға реакциясы, жүйенің әсер етудің дұрыстығы тексерілді. Дербес компьютерде іске асырудың дәлдігі мен қарапайымдылығы бойынша қолайлысы – сызықтық модель болып табылды.

Пайдаланған деректер тізімі

1 **Коршак, А. А., Шаммазов, А. М.** Основы нефтегазового дела : учебник для ВУЗов [Мәтін]. – Уфа, 2001. – 544 с.

2 Телекоммуникационная технология PLC (Power Line Communication). [Электронды ресурс]. – http://network.xsp.ru/5_5.php.

3 **Шаклеин, С. С., Абрамов, М. В.** Способ мониторинга технического состояния трубопровода и система для его осуществления. Патент на изобретение RU №2563419 – Оpubл. **20.09.2015**, БИ. № 26.

4 **Пужайло, А. Ф., Савченков, С. В., Реунов, А. В., Карнавский, Е. Л., Цыс, В. М., Свердлик, Ю. М., Баранов, В. Г., Милов, В. Р.** Способ мониторинга и оценки технического состояния магистрального трубопровода и система для его реализации. Патент на изобретение RU №2451874 – Оpubл. 27.05.2012, БИ. № 15.

5 **Карандин, В. Н., Бабёнышев, Д. П.** Способ контроля и регулирования режима работы трубопровода и система для его осуществления. Патент на изобретение RU №2304740 – Оpubл. 20.08.2007, БИ. № 23.

6 **Пужайло, А. Ф., Крюков, О. В., Репин, Д. Г.** Способ магистрального транспорта газа. Патент на изобретение №2502914 МПК F17D1/02. ОАО «Гипрогазцентр». Оpubл. 27.12.2013, БИ. № 36.

7 **Mohamed, N., Jaroodi, J. A., Jawhar, I., Eid, A.** Reliability analysis of linear wireless sensor networks // In Proc. IEEE 12th Symp. Netw. Comput Appl., Aug. 2013. – 11–16 p.

8 **Salman, A., Adnan, A., Saad Bin, Q.** SimpliMote : A Wireless Sensor Network Monitoring Platform for Oil and Gas Pipelines // In Proc. IEEE Symp. Wireless Telecomm. – Apr. 2016. – 20–25 p.

9 **Онищенко, Г. Б.** Энергоэффективность электроприводных газоперекачивающих агрегатов [Мэтин] // Промышленная энергетика. – 2014. – № 8. – 23–29 с.

10 **Краснов, Д. В., Онищенко, Г. Б.** Оценка потребности в высоковольтных регулируемых электроприводах переменного тока [Мэтин]. // Известия ТулГУ. Технические науки. – Вып. 3. – Ч.1. – 73–81 с.

11 **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. [Электронный ресурс].

12 **Терёхин, В. Б.** Моделирование систем электропривода в Simulink (Matlab 7.0.1) : учебное пособие [Мэтин]. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета. 2008. – 320 с.

13 **Кудинов, Ю. И.** Теория автоматического управления (с использованием MATLAB-SIMULINK) : учебное пособие [Мэтин]. – СПб., 2016. – 256 с.

14 **Чныбаева, Д. М., Цыба, Ю. А., Шадхин, Ю. И.** Matlab ортасында жетектің асинхронды жиілік – ток жүйесінің орнықтылығын зерттеу [Мэтин] – Торайгыров университетінің Хабаршысы. – 2021. – № 2. – 198–208 б.

15 **Васенин, А. Б., Крюков, О. В., Степанов, С. Е.** Результаты компьютерного моделирования синхронных машин при работе на вентиляторную нагрузку // Труды XV МНТК «Электроприводы переменного тока (ЭППТ – 2012)» [Мэтин]. – Екатеринбург, 12–16 марта, 2012. – 139–142 с.

16 **Пужайло, А. Ф., Савченков, С. В., Крюков, О. В. и др.** Электроприводы объектов газотранспортных систем : монография серии «Научные труды к 45-летию ОАО «Гипрогазцентр» [Мэтин]. – Нижний Новгород, 2013. – 300 с.

References

1 **Korshak, A. A., Shammazov, A. M.** Osnovy neftegazovogo dela : Uchebnik dlya VUZov [Fundamentals of oil and gas business : Textbook for universities] [Text]. – Ufa, 2001. – 544 p.

2 Telekommunikatsionnaya tekhnologiya PLC [Telecommunication technology PLC Power Line Communication] [Electronic resource]. – http://network.xsp.ru/5_5.php.

3 **Shaklein, S. S., Abramov, M. V.** Sposob monitoringa tekhnicheskogo sostoyaniya truboprovoda i sistema dlya yego osushchestvleniya. Patent na izobreteniyе RU [A method for monitoring the technical condition of a pipeline and a system for its implementation. Patent for invention RU] [Text]. № 2563419 – Publ. 09/20/2015, № 26.

4 **Puzhailo, A. F., Savchenkov, S. V., Reunov, A. V., Karnavsky, E. L., Tsys, V. M., Sverdlik, Yu. M., Baranov, V. G., Milov, V. R.** Sposob monitoringa i otsenki tekhnicheskogo sostoyaniya magistralnogo truboprovoda i sistema dlya yego realizatsi. Patent na izobreteniyе RU [Method for monitoring and assessing the technical condition of the main pipeline and a system for its implementation. Patent for invention RU] [Text] № 2451874 – Publ. 05/27/2012, № 15.

5 **Karandin, V. N., Babenyshev, D. P.** Sposob kontrolya i regulirovaniya rezhima raboty truboprovoda i sistema dlya yego osushchestvleniya. Patent na izobreteniyе RU. [A method for monitoring and regulating the operating mode of a pipeline and a system for its implementation. Patent for invention RU] [Text] № 2304740 – Publ. 08/20/2007, № 23.

6 **Puzhailo, A. F., Kryukov, O. V., Repin, D. G.** Sposob magistralnogo transporta gaza. Patent na izobreteniyе [Method of main gas transport. Patent for invention] [Text] № 2502914 IPC F17D1/02. – JSC «Giprogaztsentr». – Published. December 27, 2013, № 36.

7 **Mohamed, N., Jaroodi, J. A., Jawhar, I., Eid, A.** Reliability analysis of linear wireless sensor networks // In Proc. IEEE 12th Symp. Netw. Comput Appl., Aug. 2013. – 11–16 p.

8 **Salman, A., Adnan, A., Saad Bin, Q.** SimpliMote : A Wireless Sensor Network Monitoring Platform for Oil and Gas Pipelines // In Proc. IEEE Symp. Wireless Telecomm. – Apr. 2016. – 20–25 p.

9 **Onishchenko, G. B.** Energoeffektivnost elektroprivodnykh gazoperekachivayushchikh agregatov [Energy efficiency of electrically driven gas pumping units] [Text] // Industrial Energy. – 2014. – № 8. – 23–29 p.

10 **Krasnov, D. V., Onishchenko, G. B.** Otsenka potrebnosti v vysokovoltnykh reguliruyemykh elektroprivodakh premennogo toka [Assessment of the need for

high-voltage adjustable AC electric drives] [Text] // News of TulGU. Technical science. – Issue 3. – Part 1. – 73–81 p.

11 **Chnybayeva, D. M., Tsyba, Yu. A., Kuzmin, Yu. V., Shynybay, Zh. S., Almuratova, N. K.** Sposob i sistema monitoringa tekhnologicheskikh parametrov magistralnykh truboprovodov [Method and system for monitoring the technological parameters of main pipelines] [Text] Utility model patent 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.

12 **Terekhin, V. B.** Modelirovaniye sistem elektroprivoda v Simulink (Matlab 7.0.1) [Modeling of electric drive systems in Simulink (Matlab 7.0.1) : textbook] [Text]. – Tomsk : Publishing House of Tomsk Polytechnic University, 2008. – 320 p.

13 **Kudinov, Yu. I.** Teoriya avtomaticheskogo upravleniya (s ispolzovaniyem MATLAB – SIMULINK) [Theory of automatic control (using MATLAB – SIMULINK): textbook] [Text]. – St Petersburg, 2016. – 256 p.

14 **Chnybayeva, D. M., Tsyba, Yu. A., Shadkhin, Yu. I.** Issledovaniye ustoychivosti asinkhronnoy chastotno-tokovoy sistemy privoda v srede Matlab. [Stability study of an asynchronous frequency – current drive system in the Matlab environment] [Text] Toraihyrov University Vestnik. – 2021. – № 2. – 198–208 p.

15 **Vasenin, A. B., Kryukov, O. V., Stepanov, S. E.** Rezultaty kompyuternogo modelirovaniya sinkhronnykh mashin pri rabote na ventilyatomuyu nagruzku. [Results of computer simulation of synchronous machines when operating on a fan load] [Text] // Proceedings of the XV ISTC «Alternating current electric drives». – Yekaterinburg, March 12–16, 2012. – 139–142 p.

16 **Puzhailo, A. F., Savchenkov, S. V., Kryukov, O. V. et al.** Elektroprivody obyektov gazotransportnykh sistem : Monografiya serii «Nauchnyye trudy k 45-letiyu OAO «Giprogazsentr» [Electric drives of objects of gas transmission systems : Monograph of the series «Scientific works for the 45th anniversary of JSC Giprogazsentr»] [Text]. – Nizhny Novgorod, 2013. – 300 p.

Материал 20.06.23 баспаға түсті.

*Д. М. Чныбаева¹, Ю. А. Цыба²

^{1,2}Алматынський университет енергетики і зв'язи імені Г. Даукеева, Республіка Казахстан. г. Алматы.

Материал поступил в редакцию 20.06.23.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ И ТЕХНИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ МАГИСТРАЛЬНОГО ТРУБОПРОВОДА СРЕДСТВАМИ БЕСПРОВОДНОЙ ЦИФРОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ

На основании литературно патентных исследований предложена система с оптимальной конфигурацией элементов технологического и технического мониторинга магистрального трубопровода (МТ) независимо от вида перекачиваемой среды (нефти или газа) на базе интеллектуальных беспроводных датчиков, с передачей измеренных данных по радиорежимной линии связи в режиме реального времени с локализацией аномальных возмущающих воздействий цифровым инвариантным частотно-регулируемым электроприводом компрессорных или насосных станций.

Интеграция беспроводной сенсорной технологии в цифровой высоковольтный частотно-регулируемый электропривод (ЧРП) позволяет автоматически контролировать и оптимизировать величины давления и температуры перекачиваемой среды по всей длине МТ, а также осуществлять контроль его целостности и своевременно обнаруживать утечки транспортируемого газа или нефти в зависимости от сравнения заданных и текущих значений данных параметров, измеряемых интеллектуальными беспроводными датчиками, а также параметров возмущающих воздействий стохастического характера. Поэтому система снабжена беспроводными вибрационными датчиками, которые предназначены для подачи сигналов тревоги операторам - только при обнаружении реальной и конкретной угрозы. Получая сигнал тревоги команда вмешательства (расположенная вдоль линии) и охранники в патрульных транспортных средствах приступают к немедленной ликвидации аварии.

Разработана компьютерная модель для расчёта необходимой скорости вращения электродвигателя компрессора и получения требуемого давления природного газа в МТ. Исследования, статических и динамических режимов проведенные на компьютерной модели в среде программируемого комплекса MATLAB Simulink дали возможность определить необходимые значения корректирующего сигнала системы мониторинга МТ и коэффициента усиления обратной связи по скорости электропривода ЭППА, при которых обеспечивается максимальная чувствительность к аномальным изменениям технологических параметров давления и температуры газа в МТ с целью их оптимизации.

Ключевые слова: магистральный газопровод, компрессорная станция, газоперекачивающий агрегат, электропривод, преобразователь частоты, асинхронный двигатель, технологический мониторинг.

*D. M. Chnybayeva¹, Yu. A. Tsyba²

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

Material received on 20.06.23.

TECHNOLOGICAL AND TECHNICAL MONITORING OF THE MAIN PIPELINE BY MEANS OF WIRELESS DIGITAL TECHNOLOGY

On the basis of literary patent research, a system with an optimal configuration of the elements of technological and technical monitoring of the main pipeline (MT), regardless of the type of medium being pumped (oil or gas), based on intelligent wireless sensors, with the transmission of measured data via a radio relay communication line in real time with the localization of abnormal disturbing effects by a digital invariant frequency-controlled electric drive of compressor or pumping stations.

The integration of wireless sensor technology into a digital high-voltage frequency-controlled electric drive (FCED) allows you to automatically monitor and optimize the pressure and temperature values of the pumping medium along the entire length of the MP, as well as monitor its integrity and detect leaks of transported gas or oil in a timely manner, depending on the comparison of the set and current values of these parameters measured by intelligent wireless sensors, as well as parameters of disturbing effects of a stochastic nature. Therefore, the system is equipped with wireless vibration sensors, which are designed to give alarm signals to operators – only when a real and specific threat is detected. Upon receiving an alarm, the intervention team (located along the line) and the guards in patrol vehicles proceed to immediately eliminate the accident.

A computer model has been developed to calculate the required rotation speed of the compressor motor and obtain the required natural gas pressure in MP. Studies of static and dynamic modes carried out on a computer model in the environment of the MATLAB Simulink programmable complex made it possible to determine the necessary values of the correction signal of the MG monitoring system and the feedback gain on the speed of the EDGPU electric drive, which ensures maximum sensitivity to abnormal

changes in the technological parameters of gas pressure and temperature in MG in order to optimize them.

Keywords: main gas pipeline, compressor station, gas pumping unit, electric drive, frequency converter, asynchronous motor, technological monitoring.

Теруге 20.06.2023 ж. жіберілді. Басуға 30.06.2023 ж. қол қойылды.

Электрондық баспа

17,5 Мб RAM

Шартты баспа табағы 22,67. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: А. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова

Тапсырыс № 4103

Сдано в набор 20.06 2023 г. Подписано в печать 30.06 2023 г.

Электронное издание

17,5 Мб RAM

Усл. печ. л. 22,67. Тираж 300 экз. Цена договорная.

Компьютерная верстка: А. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова

Заказ № 4103

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

«Торайғыров университет»

коммерциялық емес акционерлік қоғамы

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

«Toraighyrov University» баспасы

«Торайғыров университет»

коммерциялық емес акционерлік қоғамы

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

8 (7182) 67-36-69

E-mail: kereku@tou.edu.kz

www.vestnik-energy.tou.edu.kz