



DOI 10.51885/1561-4212_2025_3_16

FTAXP 622.276.52

СУЫҚ КЛИМАТ ЖАҒДАЙЫНДА ҚЫСЫМЫ ТӨМЕН ІЛЕСПЕ МҰНАЙ ГАЗЫН БҰРАНДАЛЫ КОМПРЕССОРЛАРМЕН СЫҒУДЫ ОҢТАЙЛАНДЫРУ

ОПТИМИЗАЦИЯ КОМПРИМИРОВАНИЯ НИЗКОНАПОРНОГО ПОПУТНОГО НЕФТЯНОГО ГАЗА ВИНТОВЫМИ КОМПРЕССОРАМИ В УСЛОВИЯХ ХОЛОДНОГО КЛИМАТА

OPTIMIZATION OF COMPRESSION OF LOW-PRESSURE ASSOCIATED PETROLEUM GAS BY SCREW COMPRESSORS IN COLD CLIMATE CONDITIONS

Д.Ж. Басқанбаева ¹, К.К. Елемесов ¹, Л.Б. Сабирова ¹, Д.М. Мырзабекова ^{2*}

¹Satbayev University, Алматы, Қазақстан

²Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен қ., Қазақстан

*Жауапты автор: Мырзабекова Динара Мырзабекқызы, DMyrzabekova@ektu.kz

Түйінді сөздер:

бұрандалы компрессор,
ілеспе мұнай газы, қысу,
төмен қысым, жоғары
тығыздық, суық климат,
жетілдіру, сенімділік.

ТҮЙІНДЕМЕ

Бұл жұмыста Қарашығанақ кен орны мысалында суық климат жағдайында маймен толтырылған бұрандалы компрессорлармен тығыздығы жоғары қысымы төмен ілеспе мұнай газын сығу ерекшеліктері қарастырылады. Сығу компрессорлық қондырғыларын пайдалану тәжірибесін талдау барысында май жүйесінен майдың шығуына, компрессордың жұмыс ұяшығында конденсаттың түзілуіне және төмен температурада май айналымының бұзылуына байланысты бірқатар мәселелер анықталды. Осы мәселелерді шешу үшін жабдықты жаңарту және жұмыс режимдерін оңтайландыруды қамтитын кешенді тәсіл ұсынылды. Атап айтқанда, майдың шығып кетуін болдырмас үшін серіппелі тоқтатқышы бар жылдам әсер ететін кіріс клапандары әзірленді және енгізілді, конденсатты азайту үшін май мен газдың жұмыс температурасы көтерілді, сондай-ақ теріс температурада май айналымын жақсарту үшін жылу алмасу жүйесі жаңартылды. Зерттеу нәтижелері ұсынылған шешімдерді енгізгеннен кейін компрессорлық қондырғылардың сенімділігі мен тиімділігінің айтарлықтай жақсарғанын көрсетті, бұл кәдеге жаратылатын төмен қысымды ілеспе мұнай газының көлемін ұлғайтуға және қоршаған ортаға тигізетін теріс әсерін азайтуға мүмкіндік береді.

Ключевые слова:

Винтовой компрессор,
попутный нефтяной газ,
компримирование, низкое
давление, высокая плот-
ность, холодный климат,
модернизация, надежность.

АННОТАЦИЯ

В данной работе рассматриваются особенности компримирования низконапорного попутного нефтяного газа высокой плотности винтовыми маслозаполненными компрессорами в условиях холодного климата на примере Карачаганакского месторождения. Анализ опыта эксплуатации дожимных компрессорных установок выявил ряд проблем, связанных с выбросом масла из маслосистемы, образованием конденсата в рабочих ячейках компрессора и нарушением



циркуляции масла при низких температурах. Для решения этих проблем предложен комплексный подход, включающий модернизацию оборудования и оптимизацию рабочих режимов. В частности, разработаны и внедрены быстродействующие входные клапаны отсекающими для предотвращения выбросов масла, повышены рабочие температуры масла и газа для снижения конденсации, а также модернизирована система теплообмена для улучшения циркуляции масла при отрицательных температурах. Результаты исследований показали значительное повышение надежности и эффективности работы компрессорных установок после внедрения предложенных решений, что позволяет увеличить объемы утилизируемого попутного нефтяного газа и снизить негативное воздействие на окружающую среду.

Keywords:

Screw compressor,
associated petroleum gas,
compression, low pressure,
high density, cold climate,
modernization, reliability.

ABSTRACT

This paper examines the features of compression of low-pressure high-density associated petroleum gas by screw oil-filled compressors in a cold climate using the example of the Karachaganak field. An analysis of the operating experience of booster compressor units revealed a number of problems related to oil release from the oil system, condensation formation in the compressor's working cells and oil circulation disruption at low temperatures. To solve these problems, a comprehensive approach has been proposed, including equipment modernization and optimization of operating modes. In particular, high-speed inlet shut-off valves have been developed and implemented to prevent oil emissions, the operating temperatures of oil and gas have been increased to reduce condensation, and the heat exchange system has been upgraded to improve oil circulation at subzero temperatures. The research results have shown a significant increase in the reliability and efficiency of compressor units after the implementation of the proposed solutions, which makes it possible to increase the volume of recycled associated petroleum gas and reduce the negative impact on the environment.

КІРІСПЕ

Ілеспе мұнай газын тиімді басқару және пайдалану қазіргі заманғы мұнай-газ саласының маңызды міндеттерінің бірі болып табылады. Бүкіл әлемде өндірілетін ілеспе мұнай газының көлемі жоғары және ол өсу үстінде, бұл оны кәдеге жарату және қайта өңдеу мәселесін экономикалық және экологиялық тұрғыдан өте өзекті етеді. Тарихи тұрғыдан кең таралған тәжірибе болып табылатын ілеспе мұнай газын алауларда жай ғана жағу құнды шикізаттың айтарлықтай жойылуына, атмосфераның ластануына және климатқа кері әсерін тигізуге әкеліп соғады. Бұл ілеспе мұнай газын жинау, дайындау және тасымалдау үшін тиімді технологиялар мен инженерлік шешімдерді енгізу қажеттілігін көрсетеді (Li, Zhao, Liu, Wang, Shen, Guo, 2025; Aydın, Engin, Kovacevic, 2025; Braga et.al. 2024).

Ілеспе мұнай газын кәдеге жарату мәселесін шешудің бірнеше жолы бар, олардың әрқайсысының өзіндік артықшылықтары мен кемшіліктері бар. Ең көп таралғандардың бірі – электр энергиясын өндіру үшін ілеспе мұнай газын пайдалану. Ілеспе мұнай газымен жұмыс істейтін электр станцияларының құрылысы мұнай өндіретін кәсіпорындарды да, жақын маңдағы елді мекендерді де энергиямен қамтамасыз етуге мүмкіндік береді. Алайда, бұл нұсқа айтарлықтай инвестициялар мен инфрақұрылымды қажет етеді. Тағы бір тәсіл – ілеспе мұнай газын сұйытылған көмірсутек газы, бензин және басқалар сияқты құнды химиялық өнімдерге қайта өңдеу (Sun, Wu, Li, Wang, Xing, 2022). Бұл тәсіл жоғары қосымша құн алуға мүмкіндік береді, бірақ күрделі технологиялық процестерді және дамыған химия өнеркәсібінің болуын талап етеді. Үшінші тәсіл – қойнауқат қысымын ұстап



тұру және мұнай өндіруді арттыру үшін ілеспе мұнай газын қайтадан қойнауқатқа айдау. Бұл тәсіл белгілі бір геологиялық жағдайларда тиімді болуы мүмкін, бірақ мұқият талдау мен модельдеуді қажет етеді. Аталған тәсілдердің логистикаға, инвестицияларға және экологиялық аспектілерге қатысты шектеулері бар (ГОСТ Р 7.0.100-2018, 2018; Husak, Kovacevic, Karabegovic, 2019; O'Neill, 1993; Yin et al., 2017).

Осы баламалардың аясында ілеспе мұнай газын сығу, оны кейіннен құбырлар арқылы тасымалдау, әсіресе ірі тұтынушылар мен өңдеу кәсіпорындарынан алыс орналасқан кен орындары үшін болашағы зор және экономикалық тұрғыдан тиімді шешімдердің бірі болып табылады. Сығу газдың тығыздығын арттыруға мүмкіндік береді, бұл тасымалдау шығындарын айтарлықтай төмендетеді және қолданыстағы газ тасымалдау жүйелеріне ілеспе мұнай газын беру мүмкіндігін қамтамасыз етеді. Осы ретте, әсіресе кен орындарын игерудің кейінгі сатыларында өндірілетін, төмен қысымды ілеспе мұнай газын сығу ерекше техникалық міндет болып табылады. Газдың төмен қысымы күрделі жұмыс жағдайында тиімді сығуды және тұрақты жұмысты қамтамасыз етуге қабілетті мамандандырылған компрессорлық жабдықты қолдануды талап етеді (Карачаганак Петролеум Оперейтинг Б.В. Официальный сайт. URL: <https://www.kpo.kz/> дата обращения: 15.11.2024; Tian, Lu, Shen, Wu, Xing, 2018). Осыған байланысты, маймен толтырылған бұрандалы компрессорларды қолдану олардың ықшамдылығына, сенімділігіне және айнымалы құрамды газбен, сондай-ақ қоспалармен жұмыс істеу қабілетіне байланысты тартымды шешім болып табылады. Алайда, қысымы төмен, тығыздығы жоғары ілеспе мұнай газын сығу үшін маймен толтырылған бұрандалы компрессорларды, әсіресе суық климатты жағдайларда пайдалану терең зерттеуді және инженерлік шешімдерді қажет ететін бірқатар ерекше мәселелермен байланысты. Мұндай мәселелерге май жүйесінен майдың шығуы, компрессордың жұмыс ұяшығында конденсаттың пайда болуы және төмен температурада май айналымының бұзылуы жатады. Бұл мәселелерді сәтті шешу компрессорлық қондырғылардың сенімді және тиімді жұмыс істеуін қамтамасыз етуге және кәдеге жаратылатын ілеспе мұнай газының көлемін ұлғайтуға мүмкіндік береді (Kovačević, Stošić, Smith, 2004; Spille-Kohoff, Hesse, El Shorbagy, 2015).

Жоғарыда айтылғандарға байланысты, қысымы төмен, тығыздығы жоғары ілеспе мұнай газын май толтырылған бұрандалы компрессорлармен сығу ерекшеліктерін зерттеудің өзектілігі мен маңыздылығы күмән тудырмайды. Күрделі пайдалану жағдайларында компрессорлық қондырғылар жұмысының тиімділігі мен сенімділігін арттыруға бағытталған техникалық шешімдерді әзірлеу және енгізу ілеспе мұнай газын кәдеге жарату көлемін ұлғайту, қоршаған ортаға тигізетін теріс әсерін азайту және мұнай-газ саласының экономикалық тиімділігін арттыру жолындағы маңызды қадам болып табылады (<https://neftegaz.ru/science/transportation/331783-osobennosti-komprimirovaniya-nizkonapornogo-oputnogo-gaza-vysokoy-plotnosti-vintovymi-maslozapolnen/> дата обращения: 15.11.2024; Rane, Kovačević, Stošić, Smith, 2021; Wang, Xing, Chen, Sun, He, 2019).

Бұл жұмыстың мақсаты Қарашығанақ мұнай кен орнында сығу компрессорлық қондырғыларын пайдалану тәжірибесін талдау, суық климат жағдайында маймен толтырылған бұрандалы компрессорлармен қысымы төмен, тығыздығы жоғары ілеспе мұнай газын сығу кезінде туындайтын проблемаларды анықтау және олардың жұмысының сенімділігі мен тиімділігін арттыруға бағытталған инженерлік шешімдерді ұсыну болып табылады.

ЗЕРТТЕУ МАТЕРИАЛДАРЫ МЕН ӘДІСТЕРІ

Ұсынылған жұмыс аясында Қарашығанақ мұнай кен орнында пайдаланылатын EGSI-S-650/1500WA типті Enterproject сығу компрессорлық қондырғыларының жұмысын оңтайландыруға бағытталған эксперименттік және талдамалы зерттеулер кешені жүргізілді. Зерттеулер қысымы төмен, тығыздығы жоғары ілеспе мұнай газын сығу кезінде туындайтын



проблемаларды анықтау және оларды жою мақсатында нақты пайдалану жағдайында қолданыстағы қондырғыларда жүргізілді. Эксперименттік жұмыстарға сығу компрессорлық қондырғылардың жұмыс параметрлерін бақылау, ілеспе мұнай газының құрамы мен қасиеттерін талдау, сондай-ақ жабдықтың жаңартылған элементтерін сынау кірді.

Зерттеу барысында қолданылған негізгі жабдық бес Enterproject EGSi-S-650/1500WA сығу компрессорлық қондырғысы болды. Әрбір қондырғы май толтырылған бұрандалы компрессордан, май бөлгіштен, ауамен салқындату аппаратынан, автоматты басқару жүйесінен және қосалқы жабдықтан тұрады. Компрессорлар кіріс қысымы 0,01 МПа және шығыс қысымы 1,7 МПа болғанда 7000 м³/сағ өнімділікті қамтамасыз етеді. Қондырғыларды пайдалану барысында келесі параметрлер: компрессордың кірісі мен шығысындағы газдың қысымы мен температурасы, май бөлгіш пен ауамен салқындату аппаратының кірісі мен шығысындағы май температурасы, май шығыны, компрессордың дірілі, сондай-ақ ілеспе мұнай газының құрамы өлшенді.

Сығу компрессорлық қондырғыларын апаттық тоқтату кезінде май жүйесінен майдың шығып кетуін болдырмау үшін кіріс клапандарының жүйесі жаңғыртылды. Газдың кіре берісіне серіппелі кескішпен жабдықталған жылдам әсер ететін электромеханикалық жетекті клапандар орнатылды. Төтенше жағдайда клапанның сенімді жабылуын қамтамасыз ету үшін шамамен 3000 Н•м күш жасайтын екі серіппелі электр жетегі жасалды. Жаңартылған клапандар жұмысының тиімділігі кіріс сүзгі-скрубберге майдың шығып кетпеуін бақылау және сығу компрессорлық қондырғыларын сериялық апаттық тоқтату арқылы бағаланды.

Компрессордың жұмыс ұяшықтарында конденсаттың түзілуін болдырмау үшін мұнай мен газ температурасының ілеспе мұнай газын сығу процесіне тигізетін әсері жөнінде есептік және эксперименттік зерттеулер жүргізілді. Алынған мәліметтер негізінде жұмыс температурасының жаңа мәндері негізделді: май температурасы 75°C дейін, газ температурасы 105°C дейін көтерілді. Жоғары температурада компрессорлардың тұрақты жұмысын қамтамасыз ету үшін Mobil Glycoil MG11 майын тұтқырлық индексі жоғары MG22 майына ауыстырылды.

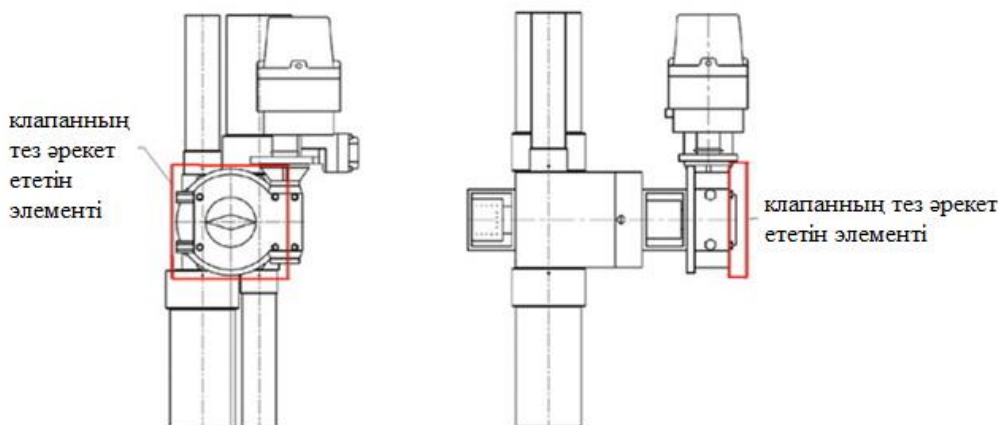
Май жүйесіндегі май айналымын теріс температурада жақсарту үшін жылу алмасу жүйесі жаңғыртылды. Жүйеге май бағына арналған сұйықтықты жылу алмастырғыш, сұйықтық айналымына арналған сорғы, ауамен салқындату аппаратын жылытуға арналған сұйықтықты радиатор, ауаны мәжбүрлеп айдайтын желдеткіш және ауа өткізгіш қосылды. Жылу тасымалдағыш ретінде -45°C дейінгі температурада қатпауын қамтамасыз ететін гликоль ерітіндісі қолданылды. Жаңартылған жылу алмасу жүйесінің тиімділігі сығу қондырғысы теріс температурада ұзақ тоқтап тұрғаннан кейін іске қосылған кезінде ауамен салқындату аппаратындағы майдың температурасын бақылау арқылы бағаланды.

Ілеспе мұнай газының термодинамикалық сипаттамаларын және сығу параметрлерін есептеу үшін Aspen HYSYS бағдарламалық ортасында іске асырылған нақты газ күйінің Peng–Robinson моделі қолданылды. Компрессордың индикаторлық диаграммаларын есептеу газдың нақты құрамы мен оның әртүрлі температура мен қысым кезіндегі қасиеттерін ескере отырып, қозғалыс теңдеулері негізінде жүргізілді. Май жүйесіндегі жылу процестерін модельдеу үшін ауыр көмірсутектердің фазалық ауысулары ескеріле отырып, жеңілдетілген жылу алмасу схемалары қолданылды. Әр түрлі температурадағы майдың тұтқырлығын есептеу Mobil Glycol гликоль майларына арналған эмпирикалық түзетулермен нақтыланған Walther моделін қолдану арқылы жүргізілді. Сондай-ақ жергілікті қызып кетуді және ауамен салқындату құрылғысы мен май бағының ішіндегі ағындардың таралуын бағалау үшін CFD модельдеу (ANSYS Fluent платформасында) жүргізілді. Бұл жылу алмасу мен май айналымын жақсартуды қажет ететін аймақтарды дәлірек анықтауға мүмкіндік берді.

НӘТИЖЕЛЕР ЖӘНЕ ОЛАРДЫ ТАЛҚЫЛАУ

Қарашығанақ мұнай кен орнында жүргізілген кешенді зерттеулер Enterproject EGSI-S-650/1500WA маймен толтырылған бұрандалы компрессорлық қондырғыларды пайдалана отырып, қысымы төмен, тығыздығы жоғары ілеспе мұнай газын сығу процесін оңтайландыруға бағытталған. Жағдайлары ұқсас көптеген басқа да газ конденсатты кен орындары сияқты, пайдаланудың бастапқы кезеңінде газдың нақты құрамы, жұмыс режимі және қолайсыз климаттық факторлармен байланысты бірқатар проблемалар анықталды. Атап айтқанда, майдың бақылаусыз шығарылуы, компрессор ішінде конденсаттың түзілуі және қоршаған ортаның төмен температураларында майлау майының қалыпты айналымын қамтамасыз етуде қиындықтар байқалды. Бұл мәселелерді тиімді шешу үшін жабдықты физикалық тұрғыдан жаңғыртуды, жұмыс режимдерін дәл реттеуді және озық технологиялық шешімдерді енгізуді қамтитын көпжақты тәсіл әзірленіп, іске асырылды.

Басты міндет компрессор қондырғысының апатты тоқтауы кезінде май жүйесінен майдың шығып кетуін жою болды. Жұмыс кенеттен тоқтаған кезде пайда болған вакуум салдарынан кіреберісте орналасқан сүзгі-скрубберге майдың ағуып кетуі орын алды. Бұл жағдайды болдырмау үшін кіріс клапандарының жүйесі айтарлықтай жаңартылды (1-сурет). Компрессорға ілеспе мұнай газын жеткізетін газ желісіне серіппелі кескіштермен жабдықталған жылдам әрекет ететін электромеханикалық клапандар орнатылды.



1-сурет. Серіппелі кескішпен жабдықталған кіріс клапанының
электромеханикалық жетегі

Ескерту: авторлармен құрастырылған

Клапанның құрылысы сығу компрессорлық қондырғысының блок-модулінің ішіндегі өте шектеулі бос орын ескеріле отырып жасалған. Бастапқыда қажетті жабылу күшін қамтамасыз ету үшін бір қуатты серіппені пайдалану ұсынылды, бірақ мұндай шешімнің габариттері орналастыру тұрғысынан қолайсыз болып шықты. Соңында, қажетті жабылу күшін (шамамен 3000 Н·м, серіппелердің тозуын өтеу үшін $\pm 5\%$ рұқсатпен) екі кішігірім серіппеге бөлу туралы шешім қабылданды, бұл электр жетегінің габариттерін едәуір азайтып, оны қолданыстағы жүйеге сәтті енгізуге мүмкіндік берді. Мұқият жүргізілген сынақтар компрессордың апаттық тоқтауы кезінде майдың шығып кетуінің толық тоқтатылғанын растады. Бұл жаңғырту енгізілгенге дейін, май шығыны әрбір апаттық тоқтау кезінде орта есеппен 6 литрге дейін жетті (компрессордың жұмыс ұзақтығы мен май температурасына байланысты 5-тен 7 литрге дейін ауытқыды), бұл техникалық қызмет көрсету шығындарын арттырып, жүйені тазалау үшін орта есеппен 4-6 сағатқа



жабдықтың мәжбүрлі тоқтап қалуына әкелді. Жаңғыртылған клапан жүйесі енгізілгеннен кейін, бұл мәселе толығымен шешілді, бұл газды қысу қондырғысының жалпы жұмыс сенімділігін едәуір арттыруға және пайдалану шығындарын (май мен персоналдың еңбекақысына кететін шығындарды азайту есебінен шамамен 15-20%-ға) айтарлықтай қысқартуға мүмкіндік берді.

Зерттеудің екінші кезеңі бұрандалы компрессордың жұмыс ұяшықтарында конденсаттың түзілу мәселесіне бағытталған. Қарашығанақ кен орнындағы ілеспе мұнай газының тығыздығы жоғары (1,32 кг/м³, фракциялық құрамына байланысты ±0,03 кг/м³ ауытқуы мүмкін) және құрамында ауыр көмірсутектер көп (массасы бойынша шамамен 15-20%), бұл оның компрессор майындағы ерігіштігін айтарлықтай арттырады. 1,7 МПа жоғары қысыммен жұмыс істейтін май бөлгіште (±0,05 МПа рұқсат етілген ауытқулармен) газ компоненттерінің көп бөлігі майда ериді, ол кейін тікелей компрессордың жұмыс ұяшықтарына беріледі. Қысым мен температура одан әрі төмендеген кезде жұмыс ұяшықтары ішіндегі майдан газ бөлініп, ауыр фракциялардың конденсациялану процесі жүреді. Түзілетін конденсат көлемі аз болғандықтан, қысымның төмендеуіне және соның салдарынан компрессор сипаттамаларының нашарлауына әкеледі (өнімділігі 8-10%-ға төмендеп, энергия тұтынуы 5-7%-ға артады). Бұл жағымсыз құбылыстың алдын алу үшін мұнай мен келіп түсетін газдың жұмыс температурасын жоғарылату туралы шешім ұсынылды. Бастапқыда майдың температурасы 55°C (±2°C), ал газдың температурасы 85°C (±3°C) деңгейінде сақталды. Алайда, термодинамикалық модельдерді қолдана отырып жүргізілген есептеулер мен эксперименттік зерттеулердің нәтижелері ауыр көмірсутектердің конденсациясын болдырмау үшін майдың температурасын 75°C (±2°C) дейін, ал газдың температурасын 105°C (±3°C) дейін арттырудың қажет екенін көрсетті. Бұл тұжырымдарды растау үшін температураның майдың тұтқырлығына және оның газды еріту қабілетіне тигізетін әсерін зерттейтін қосымша зерттеулер жүргізілді. Атап айтқанда, температураның жоғарылауы майдың тұтқырлығының төмендеуіне (температураны 20 °C арттырғанда шамамен 10-12 %-ға) және оның ауыр көмірсутектерді еріту қабілетінің төмендеуіне (дәл осындай жағдайларда шамамен 8-10%-ға) әкелетіні анықталды, бұл өз кезегінде конденсат түзілу қаупін азайтады. Жоғары температурада компрессорлық қондырғының тұрақты жұмысын қамтамасыз ету үшін Mobil Glycoil MG11 компрессорлық майын тұтқырлық индексі жоғары (ИВ=170, MG11-де ИВ=150). Mobil Glycoil MG22 майына ауыстырылды. Бұл шешімді енгізу компрессордың жұмыс ұяшықтарында конденсат түзілуін айтарлықтай азайтты, ал бұл өз кезегінде газды қысу қондырғысының өнімділігін арттыруға және электр энергиясын тұтынуды азайтуға (меншікті энергия тұтынуы шамамен 4-6 %-ға төмендеді) әкелді.

Сығу процесінің тиімділігін сандық бағалау үшін изоэнтроптық және нақты сығу бойынша меншікті жұмыс есептелді. Меншікті изоэнтроптық сығу жұмысының формуласы:

$$L_s = \frac{k}{k-1} \cdot R \cdot T_1 \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right] \quad (1)$$

мұндағы: k – адиабата көрсеткіші (ілеспе мұнай газы үшін ≈ 1.31), R – масса бірлігіне келетін әмбебап газ тұрақтысы (ілеспе мұнай газы үшін ≈ 519 Дж/(кг·К), T_1 – газдың бастапқы температурасы (К), p_1 , p_2 – бастапқы және аяққы қысым.

$T_1 = 358\text{K}$, $p_1 = 0,01\text{МПа}$, $p_2 = 1,7\text{ МПа}$ жағдайында:

$$L_s = \frac{1.31}{0.31} \cdot 519 \cdot 358 \cdot \left[\left(\frac{1.7}{0.01} \right)^{\frac{0.31}{1.31}} - 1 \right] \approx 521 \cdot 358 \cdot (7.04 - 1) \approx 1.09 \cdot 10^6 \text{ Дж/кг}$$



Осылайша, изоэнтропты жұмыс шамамен 1090 кДж/кг құрайды. Компрессордың пайдалы әсер коэффициентін 0,78 ескергенде нақты меншікті жұмыс:

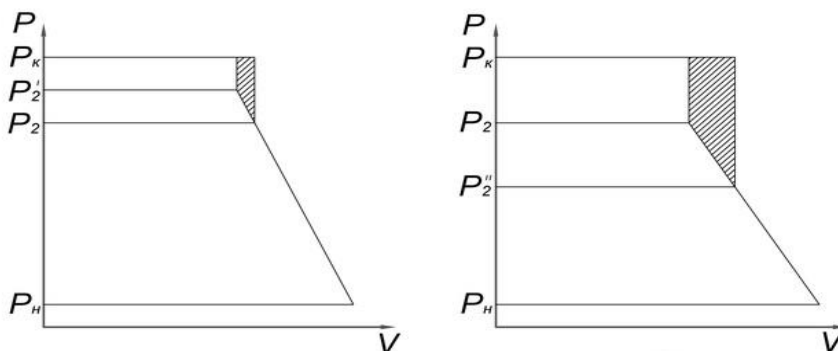
$$L_d = \frac{L_s}{\eta} \quad (2)$$

$$L_d = \frac{1.09 \cdot 10^6}{0.78} \approx 1.40 \cdot 10^6 \text{ Дж/кг}$$

Сығудың термодинамикалық тиімділігін бағалау үшін төмендегі формула бойынша қысудың меншікті жұмысын есептеу жүргізілді:

$$L = \int_{V_1}^{V_2} p dV$$

мұндағы V_1 және V_2 – индикаторлық диаграмма параметрлері негізінде анықталған газдың бастапқы және соңғы көлемі. Есептеулер көрсеткендей, газ температурасының 85°C-тан 105°C-қа дейін көтерілуі конденсация дәрежесін 48-52% төмендетеді, бұл индикаторлық диаграмма профилінің өзгеруімен расталады (2-сурет).



2-сурет. Май толтырылған бұрандалы компрессордың теориялық индикаторлық диаграммалары, А – газ конденсациясы жоқ және Б – газ конденсациясы кезінде
Ескерту – авторлармен құрастырылған

Бұл жағдайда компрессордың пайдалы әсер коэффициенті 78 %-дан 84 %-ға дейін өсті. Меншікті энергия тиімділігін есептеу 1 м³ сығылған газға энергия тұтынудың 0,097 кВт·сағ-тан 0,088 кВт·сағ-қа дейін төмендегенін көрсетті. Бұл ұсынылған жаңғыртудың экономикалық тұрғыдан орындылығын растайды.

Келесі шешімді қажет ететін мәселе – қоршаған ортаның төмен температурасында (-10 °C-тан төмен, тіркелген ең төменгі мәндер -35°C-қа дейін) май жүйесіндегі майлау майының қалыпты айналымының бұзылуы болды. Компрессор майын MG11-ден MG22-ге ауыстыру конденсат түзілу мәселесін сәтті шешкенімен, майлау майының төмен температурадағы тұтқырлығын арттырды (MG22 майының -20 °C температурадағы тұтқырлығы сол температурадағы MG11 майынан шамамен 25-30% жоғары), бұл оның айналымын, әсіресе ұзақ тоқтап тұрғаннан кейін компрессорды іске қосқанда айтарлықтай қиындатты.

Майдың тұтқырлығын есептеу үшін түрлендірілген формула қолданылды:

$$\log_{10}(\log_{10}(v + 0.8)) = A - B \cdot \log_{10}(T) \quad (3)$$

мұндағы: v – кинематикалық тұтқырлық, сСт;

T – температура, К;

A, B – эмпирикалық коэффициенттер (MG22 үшін: $A = 0,65, B = 0,075$).

$T = 253\text{K}$ (-20°C) температурада:

$$\log_{10}(\log_{10}(v + 0.8)) = 0.65 - 0.075 \cdot \log_{10}(253) \approx 0.65 - 0.075 \cdot 2.40 = 0.47$$



Кері есептеу арқылы аламыз:

$$\log_{10}(v + 0.8) = 10^{0.47} \approx 2.95 \Rightarrow v \approx 10^{2.95} - 0.8 \approx 891 - 0.8 = 890,2 \text{ сСт}$$

Осылайша, MG22 майының -20°C температурадағы тұтқырлығы 890 сСт-тан асады, бұл іске қоспас бұрын майды 10°C-тан жоғары температураға дейін мәжбүрлі түрде қыздыру қажеттілігін растайды.

Бұл мәселені шешу үшін жылу алмасудың жаңғыртылған жүйесі әзірленіп, енгізілді. Қосымша май бағына арналған сұйықтықты жылу алмастырғыш, сұйықтықты мәжбүрлеп айналдыруға арналған сорғы, ауамен салқындату аппаратын тиімді жылытуға арналған сұйықтықты радиатор, ауаны мәжбүрлеп айдауды қамтамасыз ететін желдеткіш және жылы ауа ағынын бағыттауға арналған ауа өткізгіш орнатылды. Салқындатқыш ретінде – 45 °C дейінгі температурада қатып қалудан қорғауға кепілдік беретін гликоль ерітіндісі (50% гликоль және 50 % су концентрациясы) қолданылды. Компрессорды іске қосу процесі барысында газ сығылған кезде пайда болатын жылу сұйықтықты жылу алмастырғыштағы гликоль ерітіндісімен тиімді түрде алынады және ауа ағынымен мәжбүрлі түрде үрленетін сұйықтықты радиаторға жіберіледі. Осылайша қыздырылған ауа ауамен салқындату аппаратына жіберіледі, онда ол майды компрессордың қалыпты жұмысын бастау үшін қажетті температураға дейін қыздырады (қалыпты айналым үшін майдың минималды температурасы шамамен +10°C). Бұл жүйені енгізу тіпті өте төмен температураларда да газды сығу қондырғысын сенімді іске қосуды қамтамасыз етті және майлаудың жеткіліксіздігіне қарамастан жабдықтың ықтимал зақымдануын болдырмады. Төмен температура жағдайында ұзақ тоқтап тұрғаннан кейін компрессорлық қондырғының жұмыс режиміне шығу уақыты 60-80 минуттан 30-40 минутқа дейін қысқарды, бұл газды сығу қондырғысының пайдалану сенімділігін айтарлықтай арттырып, апаттық тоқтаулардың туындау қаупін азайтты (1-кесте).

1-кесте. Конденсацияны болдырмау жүйесін жаңғыртқанға дейінгі және кейінгі қондырғы сипаттамаларын өлшеу нәтижелері

Көрсеткіш	Жаңғыртуға дейін (55 °C май, 85 °C газ)	Жаңғыртудан кейін (75 °C май, 105 °C газ)	Өзгеруі, %	Ескерту
Кіріс кезіндегі қысым, МПа	0.01 (±0.001)	0.01 (±0.001)	0 %	Тұрақты деңгейде сақталады
Шығыс кезіндегі қысым, МПа	1.7 (±0.02)	1.7 (±0.02)	0 %	Тұрақты деңгейде сақталады
Шығыс кезіндегі газдың температурасы, °C	90 (±2)	110 (±2)	+22.2 %	
Газдың шығыны, м³/сағ.	6700 (±100)	7000 (±100)	+4.5 %	Өнімділік артады
Май бөлгіштегі конденсат деңгейі, л/сағ.	2.5 (±0.2)	1.0 (±0.2)	-60 %	Конденсат түзілуінің айтарлықтай төмендеуі
Майдың кинематикалық тұтқырлығы, сСт	15 (±0.5)	13 (±0.5)	-13.3 %	Температураның тұтқырлыққа тигізетін әсері
Тұтынылатын қуат, кВт	650 (±10)	620 (±10)	-4.6 %	Өнімділікті арттыру кезінде қуатты тұтыну азайды
Ескерту – авторлармен құрастырылған				



Газдың конденсациялану дәрежесін сандық бағалау үшін келесі теңдеу қолданылады:

$$C = \frac{m_{\text{конденсат}}}{m_{\text{барлық газ}}} \cdot 100 \% \quad (4)$$

7000 м³/сағ түскен кезде және тығыздығы 1,32 кг/м³ болғанда, газдың массасы:

$$m_{\text{газ}} = 7000 \cdot 1,32 = 9240 \frac{\text{кг}}{\text{сағ.}}$$

Конденсаттың массасы 1,0 л/сағ ≈ 0,75 кг/сағ. болғанда (тығыздығы 0,75 кг/л), сонда:

$$C = \frac{0,75}{9240} \cdot 100\% \approx 0,0081\%$$

Жаңғыртуға дейін:

$$C = \frac{2,5 \cdot 0,75}{9240} \cdot 100\% \approx 0,0203\%$$

Осылайша, конденсация деңгейі 60 %-дан астам төмендеді.

Қарашығанақ кен орнында сығу компрессорлық қондырғыларының жұмысын одан әрі оңтайландыру үшін сығу процесінің тиімділігін арттыруға және операциялық шығындарды азайтуға бағытталған бірқатар қосымша эксперименттік зерттеулер жүргізудің болашағы бар деп есептеледі. Негізгі бағыттардың бірі - бұрандалы компрессор роторларының геометриясының қондырғының жалпы тиімділігіне әсерін зерттеу болып табылады. Роторлардың пішіні мен өлшемдерін өзгерту арқылы компрессордың өнімділігі мен оның тұтынатын қуаты арасындағы оңтайлы арақатынасқа қол жеткізуге болады. Мысалы, роторлардың профилін оңтайландыру кезінде сығу қуыстары арасынан газдың шығып кетуін азайтуға болады, бұл энергия тұтынуды өзгертпей, өнімділікті 2-3 %-ға арттыруға мүмкіндік береді. Мұндай зерттеулерді жүзеге асыру үшін бұрандалы компрессордағы газды сығу процесін модельдеу үшін заманауи бағдарламалық жасақтамаларды пайдалану қажет, мысалы, Ansys CFX немесе COMSOL Multiphysics. Тағы бір маңызды бағыт - үйкеліске жұмсалатын энергияны азайту мақсатында бұрандалы компрессорларға арналған жаңа майлау схемаларын әзірлеу және талдау. Тұтқырлық-температуралық сипаттамалары жақсартылған синтетикалық майлау материалдарын пайдалану (мысалы, полиальфаолефиндер) және май беру жүйесін оңтайландыру (мысалы, ең көп үйкеліс аймақтарына майды дәл жеткізу үшін микродозаторларды пайдалану) үйкеліске жұмсалатын энергияны айтарлықтай төмендетуге мүмкіндік береді (5-7 %-ға) және компрессордың қызмет ету мерзімін ұзартады (10-15 %-ға). Сондай-ақ, маңызды бағыт – гидродинамикалық есептеу әдістерін (CFD) қолдана отырып, бұрандалы компрессордың ішінде жүретін жылу процес-терін егжей-тегжейлі модельдеу. Компрессорда жылу алмасудың нақты моделін құру салқындату жүйесін оңтайландыруға және жабдықтың жергілікті қызып кетуіне жол бермейді, бұл өз кезегінде компрессордың сенімділігі мен қызмет ету мерзімін арттырады. Ол үшін заманауи бағдарламалық жасақтаманы (мысалы, ANSYS Fluent немесе OpenFOAM) пайдалану және компрессордың әртүрлі нүктелерінде орнатылған термопаралар мен қысым датчиктерін қолдану арқылы алынған эксперименттік мәліметтер негізінде модельді тексеру қажет.

Есептік және эксперименттік деректер арасындағы жоғары сәйкестікке қарамастан, болжау қателеріне талдау жүргізілді. Май температурасын модельдеу кезінде қондырғыны іске қосқанда ең үлкен айырмашылықтар байқалды: есептелген және өлшенген температура арасындағы орташа квадраттық ауытқу 3,8 °C құрады. Бұл жылу алмасу жүйесінің инерциясымен және ескерілмеген құрылымдық элементтер арқылы болатын жылу шығындарымен байланысты. Майдың тұтқырлығын анықтау қателігі -15 °C-тан төмен температурада ±6% дейін болды, бұл Walther моделіндегі эмпирикалық коэффициенттердің



спектеулі дәлдігімен түсіндіріледі. Бұл қателерді азайту үшін іріктеу жылдамдығы жоғары эксперименттік деректерді автоматты түрде жинауды енгізу және жаңа деректердегі калибрлеуді ескере отырып модельдерді жаңарту жоспарлануда.

Алынған нәтижелерді басқа ұқсас зерттеулерде келтірілген мәліметтермен салыстыру жоғары тығыздықпен сипатталатын қысымы төмен ілеспе мұнай газын сығу үшін қолданылатын бұрандалы компрессорларды пайдалану кезінде туындайтын проблемалар көптеген мұнай-газ кен орындарына, әсіресе климаты қатал аймақтарда орналасқандарға тән екенін растайды (Huagen, Chang, Xing, 2001; Череповицын, Жарова, 2011). Мысалы, Батыс Сібірдің кен орындарында, сондай-ақ Арктикадағы қайраңды жобаларында конденсаттың түзілуімен және төмен температурада май айналымының бұзылумен байланысты проблемалар жиі кездеседі. Алайда, осы жұмыс аясында ұсынылған және сәтті іске асырылған шешімдер өздерінің тиімділігін дәлелдеді және басқа да ұқсас нысандарда қолданылуы мүмкін. Атап айтқанда, кіріс клапандары жүйесін жаңғырту, май мен газ жұмысының атап айтқанда, кіріс клапандары жүйесін жаңғырту, май мен газдың жұмыс температуралық режимдерін оңтайландыру, сондай-ақ заманауи жылу алмасу жүйелерін енгізу компрессорлық жабдықтың жұмыс сенімділігін айтарлықтай арттыруға және пайдалану шығындарын азайтуға мүмкіндік береді, бұл Қарашығанақ кен орнында тиімді пайдалану тәжірибесімен расталады.

Талдау негізінде жабдықты жаңартуды, жұмыс режимдерін оңтайландыруды және заманауи технологияларды енгізуді қамтитын кешенді тәсіл жоғары тығыздықпен сипатталатын қысымы төмен ілеспе мұнай газын сығу үшін бұрандалы компрессорларды пайдалану кезінде туындайтын мәселелерді шешудің ең тиімді әдісі болып табылады деген қорытынды жасауға болады. Роторлардың геометриясын оңтайландыруға, майлаудың жаңа, тиімдірек схемаларын әзірлеуге және жылу процестерін егжей-тегжейлі модельдеуге бағытталған келешектегі зерттеулер мен әзірлемелер болашақта компрессорлық жабдықтың тиімділігі мен сенімділігін одан әрі арттыруға, сондай-ақ операциялық шығындарды айтарлықтай азайтуға мүмкіндік береді. Осы зерттеу шеңберінде алынған нәтижелер мен ұсынылған техникалық шешімдер жалпы мұнай-газ саласы үшін үлкен тәжірибелік құндылыққа ие және компрессорлық жабдықтың жұмыс тиімділігі мен сенімділігін арттыру үшін басқа да осыған ұқсас кен орындарында қолданылуы мүмкін.

ҚОРЫТЫНДЫ

Мақалада Қарашығанақ кен орнында, әсіресе суық климат жағдайында тығыздығы жоғары қысымы төмен ілеспе мұнай газын сығу үшін май толтырылған бұрандалы компрессорларды пайдалану кезінде туындайтын проблемалар қарастырылды.

Жұмыстың мақсаты – сығу компрессорлық қондырғыларын пайдалану тәжірибесін талдау, проблемаларды анықтау және олардың жұмыс сенімділігі мен тиімділігін арттыру үшін инженерлік шешімдерді ұсыну болып табылады. Зерттеулер тікелей қолданыстағы қондырғыларда жүргізілді және жұмыс параметрлерінің мониторингін, ілеспе мұнай газының құрамын талдауды, жаңартылған жабдықты сынауды қамтыды. Жүргізілген зерттеулер нәтижесінде майдың шығуын болдырмау, компрессордың жұмыс ұяшықтарында конденсаттың түзілуін болдырмау және төмен температурада май айналымын жақсарту бойынша шешімдер ұсынылып, іске асырылды.

1. Сығу компрессорлық қондырғыларының апаттық тоқтап қалуы кезінде майдың шығуын болдырмау үшін серіппелі кескіштері бар жылдам әсер ететін электромеханикалық клапандарды орнату арқылы кіріс клапандарының жүйесі жаңартылды. Бұл майдың шығып кетуін толығымен болдырмауға және қондырғының сенімділігін едәуір арттыруға мүмкіндік берді.

2. Компрессордың жұмыс ұяшықтарында конденсаттың түзілуін болдырмау үшін май мен газдың жұмыс температурасы сәйкесінше 75°C және 105°C дейін көтерілді,



сонымен қатар Mobil Glycoil MG11 майын тұтқырлық индексі жоғары MG22-ге ауыстырды. Бұл конденсаттың төмендеуіне, сығу компрессорлық қондырғыларының өнімділігінің жоғарылауына және электр энергиясын тұтынудың төмендеуіне әкелді.

3. Төмен температурада май айналымын жақсарту үшін сұйықтықты жылу алмастырғышты, сұйықтық айналымы сорғысын, сұйықтықты радиаторды және мәжбүрлі ауа айналымы желдеткішін қосу арқылы жылу алмасу жүйесі жаңартылды. Бұл экстремалды төмен температурада да сығу компрессорлық қондырғыларының сенімді іске қосылуын қамтамасыз етті және майлау жеткіліксіз болған жағдайда жабдықтың зақымдануын болдырмады.

МҮДДЕЛЕР ҚАЙШЫЛЫҒЫ: Авторлар мүдделер қайшылығы жоқ екенін мәлімдейді.

ҚАРЖЫЛАНДЫРУ: Зерттеу Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің қаржылық қолдауымен № BR24992956-ОТ-24. «Газды сығымдау үшін инновациялық жабдықтар мен технологияларды әзірлеу және құру» тақырыбы аясында жүзеге асырылды.

ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫН ПАЙДАЛАНУ ТУРАЛЫ ХАБАРЛАМА: Ғылыми мақалалардың авторлары өз еңбектерін дайындау барысында жасанды интеллект (ЖИ) құралдарын қолданбады.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- Aydın A., Engin T., Kovacevic A. (2025). Design optimisation of a screw compressor with a focus on rotor depth: a computational fluid dynamics approach. *International Journal of Refrigeration*, 170, 385–397. <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2024.12.001>
- Braga, V., Silva, E., Dutra, T., Caetano, A., Silva, O., & Andreazza, A. (2024). Numerical Investigation of Pressure Pulsation in Oil-Free Twin Screw Compressor Discharge Systems Adopted to Oil and Gas Industry. In *Proceedings of the 27th International Compressor Engineering Conference at Purdue* (Conference No. 2836). Purdue University. <https://docs.lib.purdue.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=3895&context=icec>
- Huagen, W. U., Chang, Y., & Xing, Z. (2001). Study of leakage characteristics in twin-screw compressor with refrigerant R134a. *Refrigeration Science and Technology Proceedings*. Retrieved February 20, 2025, from https://www.zhangqiaokeyan.com/academic-conference-foreign_meeting-266134_thesis/0705011998092.html
- Husak, E., Kovacevic, A., & Karabegovic, I. (2019). Calculation of clearances in twin screw compressors. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 604(1), 012001. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/604/1/012001>
- Kovačević, A., Stošić, N., & Smith, I. K. (2004). A numerical study of fluid–solid interaction in screw compressors. *International Journal on Computer Applications in Technology*, 21(4), 148–158. <https://doi.org/10.1504/IJCAT.2004.006651>
- Li Y., Zhao X., Liu S., Wang C., Shen S., Guo Y. (2025). Review and Prospects of Numerical Simulation Research on Internal Flow and Performance Optimization of Twin-Screw Compressors. *Energies*, 18(10), 2608. <https://doi.org/10.3390/en18102608>
- O'Neill, P. (1993). *Industrial Compressors: Theory and Equipment* (pp.31–3253). Amsterdam, Netherlands: Elsevier Science & Technology Books. Available online: <https://www.ebay.com/p/935293>
- Rane, S., Kovačević, A., Stošić, N., & Smith, I. K. (2021). Bi-directional system coupling for conjugate heat transfer and variable leakage gap CFD analysis of twin-screw compressors. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1180(1), Article 012001. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1180/1/012001>



- Spille-Kohoff, A., Hesse, J., & El Shorbagy, A. (2015). CFD simulation of a screw compressor including leakage flows and rotor heating. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 90(1), Article 012009. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/90/1/012009>
- Sun, S., Wu, X., Li, D., Wang, C., & Xing, Z. (2022). Study on suction pressure loss near suction end and stagnant pressure rise in p- θ diagram of twin-screw refrigeration compressor for chiller. Thermal Science & Engineering Progress, 34, 101410. <https://doi.org/10.1016/j.tsep.2022.101410>
- Tian, Y., Lu, J., Shen, J., Wu, H., & Xing, Z. (2018). Optimization on shaft seals for a twin-screw steam compressor based on a novel uniform property region (UPR) model on discharge end-face. International Journal of Refrigeration, 91, 167–176. <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2018.05.009>
- Wang, C., Xing, Z., Chen, W., Sun, S., & He, Z. (2019). Analysis of the leakage in a water-lubricated twin-screw air compressor. Applied Thermal Engineering, 155, 217–225. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2019.04.085>
- Yin, X., Cao, F., Pan, S., Song, Y., Fei, J., & Wang, X. (2017). Numerical investigation on screw rotor deformation and influence on volumetric efficiency of the twin-screw multiphase pump. Applied Thermal Engineering, 111, 1111–1118. https://openaccess.city.ac.uk/id/eprint/26572/1/Nausheen%20Basha_Numerical%20analysis%20of%20oil%20injection%20in%20twin-screw%20compressors.pdf
- Курбанкулов С.Р., Фахрундинов Р.З., Ибрагимов Р.К., Зиннурова О.В., Ибрагимова Д.А. (2016). Проблемы и перспективы использования попутного нефтяного газа на нефтяных промыслах. Вестник технологического университета, Т. 19(12), 55–59. <https://cyberleninka.ru/article/n/problemy-i-perspektivy-ispolzovaniya-poputnogo-neftyanogo-gaza-na-neftyanyh-promyslah-1/viewer>
- // Kurbankulov S.R., Fakhrutdinov R.Z., Ibragimov R.K., Zinnurova O.V., Ibragimova D.A. (2016). Problemy i perspektivy ispol'zovaniya poputnogo neftyanogo gaza na neftyanykh promyslakh [Problems and prospects of associated petroleum gas utilization at oil fields]. Vestnik tekhnologicheskogo universiteta, 19(12), 55–59. (In Russ.)
- Карачаганак Петролеум Оперейтинг Б.В. Официальный сайт. URL: <https://www.kpo.kz/> (дата обращения: 15.11.2024). // Karachaganak Petroleum Operating B.V. Ofitsialnyy sayt [Official website]. URL: <https://www.kpo.kz/> (data obrashcheniya: 15.11.2024). (In Russ.)
- Нефтегаз.ру. Особенности компримирования низконапорного попутного газа высокой плотности винтовыми маслозаполненными компрессорами. URL: <https://neftegaz.ru/science/transportation/331783-osobennosti-komprimirovaniya-nizkonapornogo-poputnogo-gaza-vysokoy-plotnosti-vintovymi-maslozapolnen/> (дата обращения: 15.11.2024). // Neftegaz.ru. Osobennosti komprimirovaniya nizkonapornogo poputnogo gaza vysokoy plotnosti vintovymi maslozapolnennymi kompressorami. URL: <https://neftegaz.ru/science/transportation/331783-osobennosti-komprimirovaniya-nizkonapornogo-poputnogo-gaza-vysokoy-plotnosti-vintovymi-maslozapolnen/> (data obrashcheniya: 15.11.2024). (In Russ.)
- Череповицын А.Е., Жарова Т.Ю. (2011). Анализ экономической эффективности технологий по утилизации попутного нефтяного газа. Записки Горного института, 191, 316–321. <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-ekonomicheskoy-effektivnosti-tehnologiy-po-utilizatsii-poputnogo-neftyanogo-gaza-v-usloviyah-tomskoy-oblasti/viewer>
- // Cherepovitsyn A.E., Zharova T.Yu. (2011). Analiz ekonomicheskoi effektivnosti tekhnologii po utilizatsii poputnogo neftyanogo gaza [Analysis of economic efficiency of technologies for associated petroleum gas utilization]. Zapiski Gornogo instituta, 191, 316–321. (In Russ.)



Авторлар туралы мәліметтер
Информация об авторах
Information about authors



Басқанбаева Динара Жумабаевна – PhD, қауымдастырылған профессор, Сатпаев университеті, Алматы қ., Қазақстан
Басқанбаева Динара Жумабаевна – PhD, ассоциированный профессор, Satbayev University, г.Алматы, Казахстан
Baskanbayeva Dinara Zhumabaevna – PhD, Associate Professor, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan,
e-mail: d.baskanbayeva@satbayev.university,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1688-0666>



Елемесов Касым Коптлеуевич – техника ғылымдарының кандидаты, профессор, Сатпаев университеті, Алматы қ., Қазақстан
Елемесов Касым Коптлеуевич – кандидат технических наук, профессор, Satbayev University, г.Алматы, Казахстан
Yelemesov Kasym Koptleevich – candidate of technical sciences, Professor, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan
e-mail: k.yelemesov@satbayev.university,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6168-2787>



Сабинова Ляйла Бахтияровна – техника ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, Сатпаев университеті, Алматы қ., Қазақстан
Сабинова Ляйла Бахтияровна – кандидат технических наук, ассоциированный профессор, Satbayev University, г.Алматы, Казахстан
Sabirova Layla Bakhtiyarovna – candidate of technical sciences, Associate Professor, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan,
e-mail: l.sabirova@satbayev.university,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8231-9944>



Мырзабекова Динара Мырзабекқызы – PhD, қауымдастырылған профессор, Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университет, Өскемен қ., Қазақстан
Мырзабекова Динара Мырзабекқызы – PhD, ассоциированный профессор, Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева, г.Усть-Каменогорск, Казахстан
Myrzabekova Dinara Myrzabekkyzy – PhD, Associate Professor, D. Serikbayev East Kazakhstan technical university, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan,
e-mail: DMyrzabekova@ektu.kz,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4493-6102>