УДК 55.33.37 621; МРНТИ 55.33.37; https://doi.org/10.37878/2708-0080/2025-2.07
https://orcid.org/0009-0002-0137-228X[1]
https://orcid.org/0009-0002-4850-4294[2]

БҰРҒЫЛАУ СОРҒЫЛАРЫНЫҢ СЕНІМДІЛІГІ ЖӘНЕ ҚЫЗМЕТ ЕТУ МЕРЗІМІН ҰЗАРТУ

Ш.М. МЕДЕТОВ,
техника ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессоры,
medetov.76@mail.ru

Г.Е. СУЮНГАРИЕВ,
техника ғылымдарының кандидаты профессор-ассистенті,
s.gabit72@mail.ru

«С. ӨТЕБАЕВ АТЫНДАҒЫ АТЫРАУ МҰНАЙ ЖӘНЕ ГАЗ УНИВЕРСИТЕТІ» КЕАҚ
Қазақстан Республикасы, 060027, Атырау қ., Баймұқанов к., 45а, 9-корпус

Бұрғылау сорғылары ұңғымаға бұрғылау ерітіндісін беруді қамтамасыз ететін бұрғылау қондырғыларының айналым жүйесінің маңызды элементтері болып табылады. Дегенмен, олардың сенімділігі жұмыс элементтерінің, әсіресе поршеньдер, цилиндр жеңдері, клапандар мен өзектерді қоса алғанда, гидравликалық бөліктің жоғары тозу қарқындылығымен шектеледі. Тозудың негізгі факторлары-бұрғылау ерітіндісінің абразивті әсері, жоғары қысым, температураның ауытқуы және динамикалық жүктемелер.

Мақалада бұрғылау сорғыларының бөлшектерінің тозуының негізгі түрлеріне талдау жасалды, олардың істен шығу себептері анықталды және ықтималдық теориясы мен математикалық статистика әдістерін қолдана отырып, сорғылардың сенімділігі бағаланды. Статистикаға сәйкес, бұрғылау сорғыларының істен шығуының шамамен 70% - ы алғашқы 20 сағатта болады, ал жалпы істен шығу деңгейі бұрғылау жабдықтарындағы барлық ақаулардың 40% - на жетеді.

Сорғылардың сенімділігін арттыру және қызмет ету мерзімін ұзарту үшін конструктивті жақсартулар (тозуға төзімді материалдарды қолдану, тығыздау жүйелерін оңтайландыру), пайдалану шаралары (тұрақты диагностика, жұмыс режимдерін бақылау) және ұйымдастыру шаралары (ТҚК регламенттерін жобалау, персоналды оқыту) ұсынылды.

Зерттеу нәтижелері мұнай-газ саласы үшін маңызды қолданбалы мәнге ие, өйткені олар:

1. Бұрғылау сорғыларының сенімділігін арттыру-сорғы бөлшектерінің тозуы мен бұзылуының негізгі түрлерін анықтау олардың қызмет ету мерзімін ұзарту үшін конструктивті және пайдалану шараларын жасауға ықпал етеді.

2. Пайдалану шығындарын азайту-тозуға төзімді материалдарды қолдану, поршеньдердің құрылымын жақсарту және бұрғылау ерітіндісінің құрамын оңтайландыру бөлшектерді жөндеу және ауыстыру жиілігін азайтуға көмектеседі.

3. Техникалық қызмет көрсетуді оңтайландыру – ақаулық заңдылықтарын талдау профилактикалық жөндеуді ұтымды жоспарлауға және тозған түйіндерді ауыстыру үшін технологиялық үзілістерді пайдалануға мүмкіндік береді.

4. Бұрғылау тиімділігін арттыру-сорғылардың апаттық тоқтауын азайту бұрғылау процесінде үзілістерді азайтады, бұл жалпы өнімділікке оң әсер етеді.

5. Өнеркәсіптік қолдану бойынша ұсыныстар жобалау-алынған мәліметтер негізінде мұнай-газ кәсіпорындарына бұрғылау сорғыларының беріктігін арттыру шараларын ұсынуға болады, бұл экономикалық көрсеткіштердің айтарлықтай жақсаруына әкеледі.

Зерттеу нәтижелері сорғыларға техникалық қызмет көрсетуді оңтайландыруға, пайдалану шығындарын азайтуға және бұрғылау жұмыстарының тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді.

ТҮЙІН СӨЗДЕР: *бұрғылау сорғысы, поршень, цилиндр жеңі, ершік, клапан, тозу, сенімділік*

НАДЕЖНОСТЬ И ПРОДЛЕНИЕ СРОКА СЛУЖБЫ БУРОВЫХ НАСОСОВ

Ш.М. МЕДЕТОВ, кандидат технических наук, ассоциированный профессор, *medetov.76@mail.ru*
Г.Е. СУЮНГАРИЕВ, кандидат технических наук, ассистент профессора, *s.gabit72@mail.ru*

НАО «АТЫРАУСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ НЕФТИ И ГАЗА ИМЕНИ С. УТЕБАЕВА»
Республика Казахстан, 060027, г. Атырау, ул. Баймуканова, 45а, корпус 9

Буровые насосы являются критически важными элементами циркуляционной системы буровых установок, обеспечивающими подачу бурового раствора в скважину. Однако их надежность ограничена высокой интенсивностью износа рабочих элементов, особенно гидравлической части, включая поршни, цилиндровые втулки, клапаны и штоки. Основными факторами износа являются абразивное воздействие бурового раствора, высокое давление, температурные колебания и динамические нагрузки.

В статье проведен анализ основных видов износа деталей буровых насосов, выявлены причины их отказов и оценена надежность работы насосов с использованием методов теории вероятностей и математической статистики. Согласно статистическим данным, около 70% отказов буровых насосов происходит в первые 20 часов работы, а общий уровень отказов достигает 40% от всех неисправностей бурового оборудования.

Для повышения надежности и продления срока службы насосов предложены конструктивные улучшения (применение износостойких материалов, оптимизация уплотнительных систем), эксплуатационные меры (регулярная диагностика, контроль режимов работы) и организационные мероприятия (разработка регламентов ТО, обучение персонала).

Результаты исследования имеют важное прикладное значение для нефтегазовой отрасли, так как позволяют:

1. Повысить надежность буровых насосов – выявление основных видов износа и разрушений деталей насосов способствует разработке конструктивных и эксплуатационных мер по увеличению их срока службы.

2. Снизить эксплуатационные затраты – применение износостойких материалов, усовершенствование конструкции поршней и оптимизация состава бурового раствора помогут сократить частоту ремонтов и замен деталей.

3. Оптимизировать техническое обслуживание – анализ закономерностей отказов позволяет рационально планировать профилактический ремонт и использовать технологические простои для замены изношенных узлов.

4. Повысить эффективность бурения – снижение аварийных остановок насосов минимизирует перебои в процессе бурения, что положительно сказывается на общей производительности.

5. Разработать рекомендации для промышленного применения – на основе полученных данных можно предложить нефтегазовым предприятиям меры по повышению долговечности буровых насосов, что приведет к значительному улучшению экономических показателей.

Результаты исследования позволяют оптимизировать техническое обслуживание насосов, снизить эксплуатационные затраты и повысить эффективность буровых работ.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *буровой насос, поршень, цилиндровая втулка, седло, клапан, износ, надежность.*

RELIABILITY AND EXTENDED SERVICE LIFE OF DRILLING PUMPS

SH.M. MEDETOV, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, *medetov.76@mail.ru*
S.E. SUYUNGARIEV, Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor, *s.gabit72@mail.ru*

ATYRAU UNIVERSITY OF OIL AND GAS NAMED AFTER S. UTEBAYEV,
Republic of Kazakhstan, 060027, Atyrau, Baimukhanova str., building 9

Drilling pumps are critical elements of the circulation system of drilling rigs that ensure the supply of drilling fluid to the well. However, their reliability is limited by the high wear rate of the working elements, especially the hydraulic parts, including pistons, cylinder bushings, valves and rods. The main factors of wear are the abrasive effect of drilling mud, high pressures, temperature fluctuations and dynamic loads.

The article analyzes the main types of wear on drilling pump parts, identifies the causes of their failures, and evaluates the reliability of pumps using methods of probability theory and mathematical statistics. According to statistics, about 70% of drilling pump failures occur in the first 20 hours of operation, and the total failure rate reaches 40% of all drilling equipment failures.

To increase the reliability and extend the service life of pumps, constructive improvements (the use of wear-resistant materials, optimization of sealing systems), operational measures (regular diagnostics, monitoring of operating modes) and organizational measures (development of maintenance regulations, staff training) are proposed.

The results of the study are of great applied importance for the oil and gas industry, as they allow:

1. Improve the reliability of drilling pumps – the identification of the main types of wear and destruction of pump parts contributes to the development of design and operational measures to increase their service life.

2. Reduce operating costs – the use of wear-resistant materials, improving the design of pistons and optimizing the composition of drilling mud will help reduce the frequency of repairs and replacements of parts.

3. Optimize maintenance – analysis of failure patterns makes it possible to rationally plan preventive repairs and use technological downtime to replace worn-out components.

4. Improve drilling efficiency – Reducing pump failures minimizes interruptions in the drilling process, which has a positive effect on overall productivity.

5. Develop recommendations for industrial applications – based on the data obtained, it is possible to propose measures to oil and gas companies to increase the durability of drilling pumps, which will lead to a significant improvement in economic performance.

The results of the study make it possible to optimize the maintenance of pumps, reduce operating costs and increase the efficiency of drilling operations.

KEYWORDS: *drilling pump, piston, cylinder sleeve, seat, valve, wear, reliability.*

Кіріспе. Бұрғылау сорғылары мұнай-газ ұңғымаларын үздіксіз бұрғылауды қамтамасыз етуде шешуші рөл атқарады, бірақ олардың жұмысы гидравликалық бөліктің бөлшектерінің қарқынды тозуымен байланысты. Жоғары жүктемелер, бұрғылау ерітіндісінің абразивті әсері және күрделі жұмыс жағдайлары жиі істен шығуға әкеледі, бұл бұрғылау процестерінің тиімділігін төмендетеді және жабдықты жөндеу және ауыстыру шығындарын арттырады.

Статистикаға сәйкес, бұрғылау сорғыларының істен шығуының шамамен 70%-ы алғашқы 20 сағатта болады, ал жалпы істен шығу деңгейі бұрғылау жабдықтарындағы барлық ақаулардың 40% - на жетеді. Бұл тозу механизмдерін зерттеу және сорғылардың қызмет ету мерзімін ұзартудың тиімді әдістерін жобалау қажеттілігін көрсетеді.

Зерттеудің өзектілігі мұнай-газ саласының терең бұрғылау және күрделі геологиялық түзілімдер жағдайында жұмыс істей алатын сенімді және берік сорғыларға қажеттілігіне байланысты. Жаңа конструктивті шешімдерді жобалау, тозуға төзімді материалдарды пайдалану және техникалық қызмет көрсету әдістерін жетілдіру апаттылықты азайтуға, тоқтап қалуды азайтуға және бұрғылау жұмыстарының рентабельділігін арттыруға мүмкіндік береді.

Бұл зерттеу бұрғылау сорғыларының сенімділігін жүйелі талдауға және мұнай-газ өнеркәсібі үшін маңызды практикалық маңызы бар олардың пайдалану ресурсын ұлғайтуға ықпал ететін шешімдерді іздеуге бағытталған.

Мұнай мен табиғи газ өндірудің жоғары деңгейіне қол жеткізу бұрғылау жұмыстарының тиісті көлемін, демек, бұрғылау жабдықтары мен құралдарын өндіруге кететін шығындарды талап етеді. Осыған байланысты өнімділікті арттырудың, жабдық пен құралды пайдалануға материалдық және ақшалай шығындарды азайтудың маңызды бағыттарының бірі ретінде жабдықтың сенімділігі мен беріктігін арттыру мәселесі үлкен маңызға ие.

Дегенмен, айтарлықтай эксперименттік-теориялық зерттеулер жүргізуді қажет ететін көптеген міндеттерге байланысты жабдықтың сенімділігі мен беріктігін арттырудың кейбір мәселелерін шешу өте қиын.

Бұрғылау сорғылары ұңғымаға бұрғылау ерітіндісін беруді қамтамасыз ететін бұрғылау қондырғысының айналым жүйесінің маңызды элементтері болып табылады [1].

Бұрғылау сорғысы дәнекерленген жақтауға орнатылған жетек және гидравликалық блоктардан тұрады [1, 2].

Бұрғылау сорғыларының гидравликалық блоктары корпус пен ауыстырылатын бөлшектерден тұрады. Корпустық бөлшектерге гидрокораптар мен олардың қақпақтары, қабылдау және айдау коллекторлары, ауыстырылатын - цилиндрлік втулкалар мен поршеньдер, клапанның отырғышы мен табақшасы, қозғалмайтын және қозғалмалы қосылыстардың тығыздағыштары жатады.

Бұрғылау сорғылары нақты және күрделі жағдайларда қолданылады. Бұрғылау жұмыстарының технологиялық процесі жабдықтың тығыз өзара әрекеттесу жүйесі бойынша жүзеге асырылады, онда олардың біреуінің жарамсыз болуы немесе істен шығуы бүкіл жүйенің қалыпты жұмысына кедергі келтіреді. Көбінесе бұрғылау сорғыларының істен шығуы өндірістік процестің үзілуіне байланысты ғана емес, сонымен қатар бұрғылаудағы асқынулар мен апаттардың салдарынан айтарлықтай

экономикалық зиян келтіреді. Мұның себебі-қалыпты технологиялық процестің бұзылуы.

Терең ұңғымаларды бұрғылау үшін қолданылатын бұрғылау қондырғыларының сенімділігін арттыру, конструктивті және пайдалану параметрлерін жетілдіру үшін, ең алдымен, істен шығу себептерін жүйелеу және олардың қызмет ету мерзімін шектейтін бөлшектердің тозу түрлерін анықтау қажет.

Сондай-ақ, үйкеліс беттерінің өзара әрекеттесу заңдылықтарын және бұрғылау сорғыларының бөлшектері жұмыс істейтін типтік орталардың тозу қабілетін зерттеу және жалпылау, сенімділікті арттырудың тиімді әдістерін анықтау қажет.

Зерттеу материалдары мен әдістері. Зерттеу материалдары мен әдістеріне бұрғылау сорғысының гидравликалық бөлігі элементтерінің істен шығуын талдауға, сондай-ақ ықтималдықтар теориясы мен математикалық статистика әдістерімен бұрғылау сорғысының сенімділігін бағалауға негізделген отандық және шетелдік ғылыми-танымдық және анықтамалық әдебиеттерге терең шолу кіреді.

Нәтижелерді талқылау. Мақала Сафи Өтебаев атындағы Атырау мұнай және газ университетінің профессор – оқытушылар құрамы алдында талқыланып, жариялауға ұсынылды.

Талдау көрсеткендей, бұрғылау сорғыларының істен шығуының ең көп саны (шамамен 70%) істен шығу арасындағы жұмыс уақыты 20 сағаттан аспайтын жағдайларға жатады. Істен шығудың 7%-дан азы істен шығу арасындағы жұмыс уақыты 60 сағатты құрайтын жағдайларға жатады. Көп жағдайда (шамамен 80%) бұрғылау сорғыларын жөндеуге кететін уақыт, 4 сағаттан аспайды (қалпына келтірудің орташа уақыты $T_в^* = 2{,}68$ сағ, орташа квадраттық ауытқу $T_в^* = 2{,}68$ сағ, квадраттық ауытқу $\sigma_в = 2{,}73$ сағ) [3-5].

Тозған қашауды ауыстыруға арналған құрал бағанасын көтеру және түсіру кезінде бұрғылау сорғыларының технологиялық аялдамалары болғандықтан, оларды тексеру, техникалық қызмет көрсету және жөндеу үшін осы технологиялық тоқтап қалуларды қолданған жөн. Егер ұңғыманың тереңдігіне және бұрғылау сорғыларын жөндеуге кететін уақыт шығындарына байланысты түсіру және көтеру операцияларына кететін уақытты салыстыратын болсақ, онда көп жағдайда жөндеу жұмыстарын технологиялық тоқтап қалу кезеңінде жүргізуге болады.

Бұрғылау сорғыларының ақаусыз жұмыс істеу ықтималдығының олардың жұмыс істеу уақытына тәуелділігі келесідей: істен шығудың орташа уақыты шамамен 0,4-ке тең ақаусыз жұмыс істеу ықтималдығына сәйкес келеді. Сорғылардың ақаусыз жұмыс істеу ықтималдығының күрт төмендеуі тән, бұл істен шығу арасындағы өнімділіктің жоғарылауымен, бұл қолданылатын сорғылардың сенімділігінің төмендігін көрсетеді.

1-кестеде тереңдігі 4300 м-ден асатын кейбір ұңғымалар бойынша деректерді талдауда бұрғылау сорғыларының істен шығуының таралуы келтірілген.

1 кесте – **Бұрғылау сорғыларының істен шығуының таралуы**

Жабдық	Істен шығулар саны n_i	Істен шығулар коэффициенті k_o, %
Бұрғылау сораптары	1443	42,83

1 кестеден көріп отырғанымыздай, істен шығудың 40%-дан астамы бұрғылау сорғыларының істен шығуы үлесіне тиесілі. Алайда, бұл ақауларды негізінен бұрғылау сорғыларын өзгертпестен жұмыс жағдайында жоюға болады. Бұрғылау сорғылары кенеттен істен шығумен сипатталады, бұл көбінесе бұрғылау режимінің бұзылуына себеп болады.

Үйкеліс беттерінің сапалы өзгерістерін және бұрғылау сорғысының негізгі қондырғыларының бөлшектерінің тозуының тән түрлерін анықтау үшін оларды күрделі жөндеу кезінде де, пайдалану жағдайында да тексеру қажет.

Күрделі жөндеу кезінде бұрғылау сорғысының бөлшектері мен тораптарына тән тозудың негізгі түрлері анықталады, бұл тозу түрлерін талдауға және жүйелеуге мүмкіндік береді.

Тозудың негізгі түрлерін анықтау үшін жабдықтың металл бөлшектерінің беткі қабаттарын зерттеуге болады. Бұл ретте сыртқы механикалық әсерлердің, ортаның сипатындағы бөлшектердің тозуына әсері, сондай-ақ металдың сипаттамасы және зерттелетін бөлшектердің үйкеліс беттерінің жай-күйі ескеріледі.

Бұрғылау сорғыларының гидравликалық бөлігінің бөлшектерінің қызмет ету мерзімі қысқа екендігі белгілі. Олардың жұмыс ұзақтығына жұмыс жағдайлары үлкен әсер етеді. Сонымен, тереңдіктің өсуімен, ұңғымаларды бұрғылаудың қиындауымен және салмақты сазды ерітінділерді қолданумен қызмет ету мерзімі едәуір қысқарады. Сумен жуылатын ұңғымаларды бұрғылау кезінде поршеньдердің қызмет ету мерзімі 180-200 сағатты құрайды, ал салмақты саз ерітіндісін (тығыздығы 2,25 г/см^3) пайдаланған кезде олар 18-20 сағатқа дейін, яғни 10 есе азаяды.

2-кестеде бұрғылау сорғыларының гидравликалық бөлігінің бөлшектерінің орташа қызмет ету мерзімі көрсетілген.

2 кесте – **Бұрғылау сорғыларының гидравликалық бөлігінің бөлшектерінің орташа қызмет ету мерзімі**

Бөлшектер	Бұрғылау кезінде ұңғыма метрлеріндегі орташа ресурс		
	ауырлатылмаған бұрғылау ерітіндісін қолданғанда	ауырлатылған бұрғылау ерітіндісін қолданғанда	ауырлатылған бұрғылау ерітіндісін қолданғанда
Цилиндрлі жеңдер	78,7	184,0	479,1
Поршеньдер	31,1	88,0	285,6
Өзектер	46,7	100,0	452,8
Клапандар	22,2	57,4	133,0

2-кестеден көріп отырғанымыздай, бұрғылау сорғыларының гидравликалық бөлігінің бөлшектерінің қызмет ету мерзімі әсіресе ауыр саз ерітінділерін бұрғылау үшін қолданған кезде төмен.

Көптеген факторлардың әсерінен бұрғылау сорғыларының бөлшектерінің қызмет ету мерзімі айтарлықтай өзгереді: поршеньдер үшін: 11,75 сағат; цилиндрлік втулкалар үшін: 8,28 сағат; өзектер үшін: 5,65 сағат; клапандар үшін: 9,00 сағат [6-8].

Цилиндрлік втулкалардың тозуы мен бұзылуының тән түрлері *3-кестеде* келтірілген.

3 кесте – **Цилиндрлік втулкалардың тозуы мен бұзылуының тән түрлері**

Тозу мен бұзылу түрлері	Зақымдалу сандары	Барлық зақымдалу санынан процент
Терең бойлық жуу	26	32,5
Бойлық сызықтар және бастапқы жуу	28	35,0
Айтарлықтай тозу	16	20,0
Жарықтар мен бөлінулер	8	10,0
Үгілулер	2	2,5

3 кестеден втулкалардың істен шығуының негізгі себебі жуу екенін көруге болады. Втулкалардың диаметрлі тозуы 0,5-1,5 мм. Цилиндрлік втулкалардың мерзімінен бұрын істен шығуы (жұмыс беттерін жуу) поршеньнің тез істен шығуына ықпал етеді.

Поршеньдердің жұмыс бетінің тозу сипаты көп жағдайда втулкалардың жұмыс бетінің тозу сипатына ұқсас. Поршеньдердің бұзылуының тән түрлері-манжеттер мен өзек белдіктерін жуу, сондай-ақ манжеттердің бұзылуы (*4-кесте*).

4 кесте – **Поршеньдердің бұзылу түрлері**

Тозу мен бұзылу түрлері	Зақымдалу сандары	Барлық зақымдалу санынан процент
Жуылулар:		
манжетаның	15	12,5
өзек белдеуінің	13	10,9
өзек конусының	2	1,7
Манжеталардың бұзылуы:		
бөлгіш белдеуде	40	33,3
беттің көп бөлігінде	25	20,8
құбыр бөлігінде	4	3,3
резеңкенің жыртылуы	4	3,3
манжеттердің секіруі	13	10,9
сызықтар мен сызаттар	4	3,3

Манжеттердің бұзылуының барлық түрлерінің едәуір пайызы (33,3%) манжеттердің бетінде пайда болатын мерзімді кернеулер мен жанасу қысымдарының салдарынан пайда болатын бөлу белдеуіндегі резеңкенің бұзылуына байланысты. Поршень одан әрі жұмыс істегенде, бұл манжеттер бетінің көп бөлігінің бұзылуына әкеледі [9-12].

1-суретте "ҚазМұнайГаз-Бұрғылау" ББМ ЖШС кен орындарында сынақтан өткен поршеньдер келтірілген. Онда резеңке тығыздағыштың тозуын көре аламыз.

1 сурет – **"ҚазМұнайГаз-Бұрғылау" ББМ ЖШС кен орындарында сынақтан өткен поршеньдер**

Сондай-ақ, резеңке үзіліп, поршеньдік манжеттер секіріп кетуі мүмкін, бұл негізінен сапасыз гуммингпен түсіндірілуі мүмкін. Сонымен қатар, пайда болатын мерзімді кернеулер, әсіресе бөлу белдеуіндегі саңылаулары бар өзектің конструктивті орындалуы манжеттердің секіруіне ықпал етеді. Сондай-ақ, поршеньді өзекке тығыз емес орнату салдарынан өзектің орнату конусының жуылуы болады.

Бұрғылау сорғыларының поршеньдерінде тозу мен бұзылудың бірнеше түрі болуы мүмкін. Бұл әсіресе манжеттер мен өзек белдеуін жуу, сондай-ақ манжеттерді жуу және бұзу комбинацияларына қатысты. Тозу мен бұзылудың бұл түрлері ең тән болып табылады және поршеньдердің жалпы зақымдануының 70% - дан астамын құрайды.

Цилиндрлік жеңі-поршень жұбының жұмыс беттерінде тозу және жуылудың түзілу мханизмі келесідей [13-15].

Тығыздықты жоғалтқанға дейін цилиндрлік поршеньдік втулка жұбының тозуы абразивті қабаттың әсерінен болады. Абразивті бөлшектердің әсерінен пайда болатын бойлық сызықтар мен сызаттар тығыздықтың бұзылуына әкеледі. Осы сәттен бастап, втулканың бір қуысында екінші қуыстың үстіндегі қысымның үлкен айырмашылығына байланысты, абразивті ағын бос жерлерден өтіп, цилиндрлік втулка мен поршень бетінде терең бойлық ойықтардың пайда болуына әкеледі.

5 кестеде клапанның табақша-ершік жұбының тозуы мен бұзылуының тән түрлері келтірілген.

5 кесте – **Клапанның табақша-ершік жұбының тозуы мен бұзылуының тән түрлері**

Тозу мен бұзылу түрлері	Тәрелке		Ершік	
	Зақымданулар саны	Барлық зақымдану-лар санынан процент	Зақымданулар саны	Барлық зақымданулар санынан процент
Жұмыс конусының бетінің жуылулары, тозуы және бұзылуы (барлық жуылулар)	132	40,0	109	41,7
Соның ішінде:				
радиалды	34	-	25	-
шеңберлік	80	-	36	-
радиалды және шеңберліктің бірігуі	18	-	40	-
бойлай	-	-	8	-
Сақиналы қазба	78	23,6	91	34,9
Жаншылулар	64	19,2	51	19,5
Үгілулер	8	2,4	7	2,7
Жарықтар	16	4,8	2	0,8
Бөлінулер	25	7,6	1	0,4
Тәрелкенің иілуі	8	2,4	-	-
Резеңке тығыздағыштың бұзылуы	130	-	-	-

5 кесте – **Клапанның табақша-ершік жұбының тозуы мен бұзылуының тән түрлері**

Айтарлықтай тозу:				
жоғарғы бағыттағыштың	39	-	-	-
бағыттаушы крестовинаның	31	-	-	-
Сыну:				
жоғарғы бағыттағыштың	1	-	-	-
бағыттаушы крестовинаның	5	-	-	-
Тесіктің біржақты тозуы	-	-	2	-
Ершіктің сыртқы орнату бетінің жуылуы	-	-	1	-

Негізінен клапандар резеңке тығыздағыштың бұзылуына байланысты істен шығады. Пластиналар мен ершіктрдің шамамен 85%-ы жұмыс беттерінің жуылумен байланысты істен шығады. Сонымен қатар, жуылу резеңке тығыздағыштың бұзылуы бар барлық табақтарда байқалады. Жуылу сипаты резеңке тығыздағыштың бұзылу дәрежесіне байланысты. Бірлесіп жұмыс істейтін тәрелкелер мен ершіктердің жуылу сипаты көп жағдайда бірдей. Сондай-ақ, бойлай жуылуы да болуы мүмкін.

Жуылудың пайда болуының алдында ойықтар, жиырылулар мен жарықтар пайда болады. Пластиналар (50%) мен ершіктердің (70%) жұмыс беттерінде сақиналы қазбалар болуы мүмкін. Бұл соққы динамикалық жүктемелерде абразивті тозуға тән металдың пластикалық деформациясының (бөлінуінің) салдары.

Сондай-ақ, пластиналарда перифериялық бөліктің ауытқуы болуы мүмкін, оның себептерінің бірі-өзектің қаттылығы жеткіліксіз.

Пластинаның жұмыс конустық беттері мен клапанның ершіктерінің тығыз, саңылаусыз беттесуін жасау (үйлесімділік қамтамасыз етілген жағдайда) толығымен осы конустық беттердің пішіні мен бұрышының дәлдігіне байланысты. Конус бетінің пішінінің бұрмалануы (тегіс емес, түзу емес және т.б.) жергілікті тығыздықтың пайда болуына әкеледі. Әйтпесе, конус бетіндегі толық жанасудың орнына, қай бұрыштың: ершік бұрышы немесе конустың көлбеу бұрышының үлкен екеніне байланысты конустың жоғарғы немесе төменгі бөлігінде саңылауы бар сызық (шеңбер) бойынша жанасу болады.

Талдау көрсеткендей, клапан мен тығыздағыш резеңке тығыздағыштың жұмысы конустың жоғарғы жағында да, төменгі жағында да саңылаудың болуы қажет емес.

Жоғарғы бөлігіндегі саңылау кезінде клапанның үстіндегі жоғары қысымның әсерінен резеңке тығыздағыш пайда болған саңылауға басылады және қысылады, бұл тез істен шығуға және әдетте клапанның жұмыс конусын жуылуға әкеледі. Мұндай қысудан туындаған көптеген пластиналардағы тығыздағыштың бұзылуының ерекше сипаты мұндай бұзылулардың жиі болатынын көрсетеді.

Үлкен қысымның әсерінен жұмыс конусының төменгі бөлігіндегі саңылау кезінде жұмыс конусының бұрыш мәндерінің белгілі бір рұқсат етілген ауытқулары бар тәрелке серпімді деформацияланады және саңылау осы деформациямен өтеледі, бұл конустық ершік пен тәбеттерінің генератор мен периметр бойынша тығыз өзара орналасуын қамтамасыз етеді.

Орнатылған маңызы бар рұқсат бұрышы жұмыс конустар тәрелкелер 45^0 (-11') және ершіктер 45^0 (+11') қанағаттандыратын талапқа қалыпты жұмыс резеңке тығыздау керек.

Пластинаны тәрелкеге жүктеменің біркелкі бөлінбеуінің әсерінен ершікке отырғызу кезінде тәрелкенің жұмыс конусының осі бағыттаушы саңылаулар шегінде ершіктің жұмыс конусына қатысты қисаюы мүмкін. Бұрмаланудың болуын клапан қақпағының бағыттаушы жеңінің бір жақты тозуы көрсетеді. Тозған втулкалардың 60% - дан астамы 0,5-тен 5,5 мм-ге дейін эллиптикалық екендігі анықталды.

Коаксиалдылықтан ықтимал ауытқу шамасы бағыттағыштардағы саңылаулардың шамасына және клапан элементтерін жасау дәлдігіне байланысты.

Клапанның бағыттаушы жеңінің тозуы клапанның ершігі мен тәрелкесіне зақым келтірудің негізгі себебі болуы мүмкін. Клапанның жоғарғы бағыттағышы мен втулка арасындағы ең аз саңылау диаметрі 1,6 мм болуы керек және саңылау 3,2 м-ге дейін ұлғайған жағдайда ғана втулканы ауыстыру қажет.

Бұрғылау сорғыларының өзектерінің тозуы мен бұзылуының тән түрлері *6-кестеде* келтірілген.

6 кесте – **Бұрғылау сорғыларының өзектерінің тозуы мен бұзылуының тән түрлері**

Тозу мен бұзылу түрлері	Зақымдалу сандары	Барлық зақымдалу санынан процент
Жуылулар:		
жұмыс бетінің	6	5
конус бөлігінің	10	8
Бойлық сызықтар:		
терең	40	32
айтарлықтай емес	29	23
Біржақты тозу	30	24
Жаншылулар мен үгілулер	10	8

6-кестеден өзектің жұмыс беті әртүрлі тереңдіктегі бойлық сызықтарды қалыптастыру үшін негізінен абразивті тозуға ұшырайтынын көруге болады. Пайдаланылған өзектердің диаметрлі тозуы негізінен 1-2 мм аралығында, ал кейбір жағдайларда 3,5-4 мм дейін жетеді.

Өзектерді ауыстыру көбінесе бойлық терең сызықтар мен жуылудың пайда болуына байланысты жүзеге асырылады. Олардың пайда болу себебі цилиндрлік втулкалармен бірдей.

Өзектердің едәуір саны бір жақты тозуға ие; екі өзара перпендикуляр жазықтықтағы тозу шамаларының айырмашылығы 1,5 мм-ге дейін жетеді.

Бір жақты тозу өзектің жұмыс бетінің осінің тығыздағыштың саңылауына қатысты саңылаудың айтарлықтай мөлшеріне ауысуынан болады. Талдау көрсеткендей, крейцкопф торабының бөлшектерінің беттесуіндегі орнату жүйесін өзгерту арқылы өзектің жұмыс бетінің осінің ығысуын айтарлықтай азайтуға болады (10 еседен астам).

Бұрғылау сорғыларының гидравликалық бөлігінің бөлшектерінің тозуы мен бұзылуының тән түрлерін зерттеу нәтижесінде бөлшектердің жұмыс бетінде абразивті

тозу нәтижесінде абразивті қабаттың (цилиндр жеңі, өзек) әсерінен сызықтар, сызаттар пайда болатыны, сондай-ақ металдың пластикалық деформациясы мен жиырылуы (пластина мен клапанның орны) пайда болатындығы анықталды. Барлық жағдайларда тығызсыздықтардың пайда болуына байланысты жұмыс беттері абразивті сұйықтық ағынының нәтижесінде пайда болған тығызсыздықтың әсерінен жуылады.

Жоғарыда айтылғандай, бұрғылау сорғыларының сенімділігін бағалау үшін ықтималдықтар теориясы мен математикалық статистика әдістері кеңінен қолданылады. Белгілі бір уақыт аралығында сенімділік көрсеткіштерін анықтау міндетін қарастырайық.

Бастапқы мәліметтер: Сынаққа N=3007 бұйым қойылды. Сынақтар 1000 сағат ішінде өткізіледі. Сынақ нәтижелері *7-кестеде* келтірілген.

Орындау қажет:

1. Уақыт бойынша $Q(t)$ және $R(t)$ жұмыс істемеу ықтималдығының таралуының статистикалық бағасын табу.

2. $f(t)$ істен шығу ықтималдығының тығыздығының және уақыт бойынша $\lambda(t)$ істен шығу қарқындылығының өзгеруін табу.

3. Есептеу нәтижелері графиктермен көрсету.

7 кесте – **Бұрғылау сорғысының сенімділігін бағалау үшін бастапқы деректер**

Барлық бұйым саны N	Уақыт аралығындағы істен шыққан бұйымдар саны t_i, дана.									
	0 – 100	100 – 200	200 – 300	300 – 400	400 – 500	500 – 600	600 – 700	700 – 800	800 – 900	900 – 1000
3007	49	99	88	554	594	542	580	86	87	40

Шешуі.

1. Есептің шартына сай қарастырылатын кезеңдар ұзындығы Δt 100 сағатқа тең $\Delta t = 100$ сағ.

2. Бастапқы уақыт кезеңінде бұйымдар жұмыс күйінде болуы керек және сәтсіздікке ұшыраған бұйымдардың саны t=0, сондықтан

$\tilde{R}(0) = 1.0.$

$\tilde{Q}(0) = 0.$

3. Бірінші кезеңнің соңында жұмыс істейтін өнімдердің санын анықтаймыз

$N(100) = N\text{-}n\ (100) = 3007\text{-}49 = 2958$ дана.

4. Әр кезеңнің соңында жұмыс істеу ықтималдығының статистикалық бағасын анықтаймыз

$$\tilde{R}(100) = 1 - \frac{n(100)}{N} = \frac{N(100)}{N} = \frac{2958}{3007} = 0{,}98.$$

5. Бұзылған бөлшектердің санын бірінші кезеңнің соңында өсіп келе жатқан нәтижемен анықтаймыз

$$n(t_{i+1}) = n(t) + \Delta n(t) = 0 + 49 = 49.$$

6. Әр кезеңнің соңында сәтсіздік ықтималдығының статистикалық бағасын анықтаймыз

$$\tilde{Q}(t)=\frac{n(t)}{N}=\frac{49}{3007}=0{,}016.$$

7. Бұзылу ықтималдығының тығыздығының статистикалық бағасын анықтаймыз

$$\tilde{f}(t)=\frac{\Delta n(t)}{N\Delta t}.$$

8. Бұзылу қарқындылығының мәнін анықтаңыз

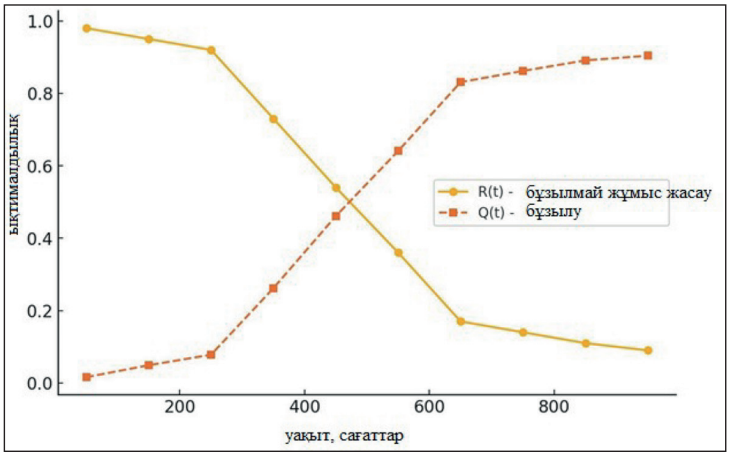
$$\tilde{\lambda}(t)=\frac{\Delta n(t)}{(N-n(t))\Delta t}$$

9. Осы сияқты біз барлық басқа кезеңдер үшін есептеулер жүргіземіз және ыңғайлы болу үшін есептеу нәтижелерін *8-кестеге* келтіреміз.

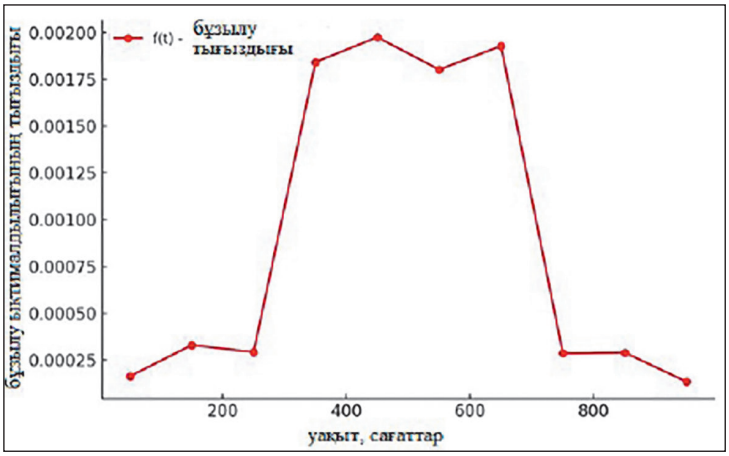
8 кесте – **Сенімділік көрсеткіштерінің статистикалық бағаларын есептеу нәтижелері**

Уақыт аралығы Δt, сағ	Берілген аралықтағы бұзылулар саны Δn(t)	Аралық соңында жұмысқа қабілетті бұйымдар саны N(t)	Аралық соңында бұзылған бұйымдар саны	Бұзылмай жұмыс жасау ықтимал-дылығы R(t)	Бұзылу ықтимал-дылығы Q(t)	Бұзылу ықтимал-дылығының тығыздығы f(t), $\cdot 10^{-2}$	Бұзылу қарқыны λ(t), $\cdot 10^{-2}$
		3007					
0 – 100	49	2958	49	0,98	0,016	0,000162	0,000165625
100 – 200	99	2859	148	0,95	0,049	0,000329	0,000346274
200 – 300	88	2771	236	0,92	0,078	0,000292	0,000317574
300 – 400	554	2217	790	0,73	0,262	0,001842	0,002498872
400 – 500	594	1623	1384	0,54	0,461	0,001975	0,003659889
500 – 600	542	1081	1926	0,36	0,641	0,001802	0,005013876
600 – 700	580	501	2506	0,17	0,831	0,001928	0,011576846
700 – 800	86	415	2592	0,14	0,862	0,000285	0,002072289
800 – 900	87	328	2679	0,11	0,891	0,000289	0,002652439
900 – 1000	40	288	2719	0,09	0,904	0,000133	0,001388888

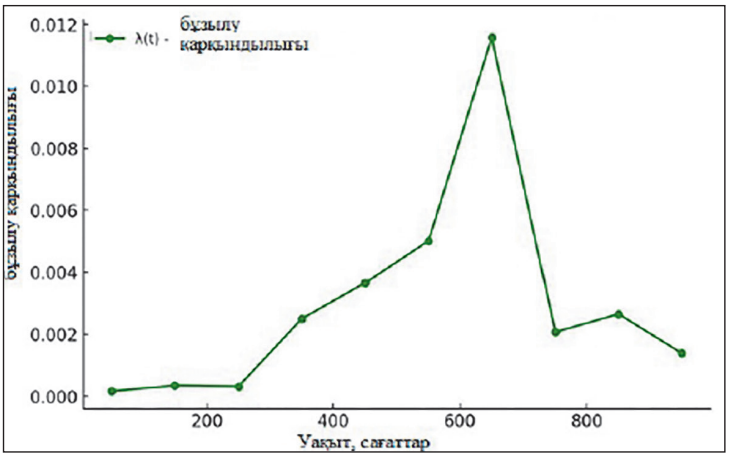
Есептеу деректері бойынша, уақыт бойынша есептік шамалардың тәуелділік графиктерін саламыз (*2, 3, 4-суреттер*).



2 сурет – **R(t) және Q(t) ықтималдылықтарының уақытқа байланыстылық графигі**



3 сурет – **f(t) істен шығу ықтималдығының уақыт тығыздығының графигі**



4 сурет – **λ(t) істен шығу қарқындылығының уақытқа тәуелділік графигі**

Сенімділік графиктерін талдау:

1. *R(t)* және *Q(t)* істен шығу ықтималдығы графигі

• *R(t)* (сары сызық) біртіндеп төмендейтінін көруге болады, бұл қисынды: жабдық неғұрлым ұзақ жұмыс істесе, оның істен шығу ықтималдығы соғұрлым жоғары болады.

• Керісінше *Q(t)* (қызғылт сары сызық) істен шығу ықтималдығы артып келеді. Әсіресе күрт өсу 300-400 сағаттан кейін байқалады, бұл осы кезеңде жабдықтың тез тозуын көрсетеді.

• 600-700 сағаттан кейін жұмыс істеу ықтималдығы күрт төмендейді, яғни жабдықтың көп бөлігі істен шығады.

2. *f(t)* істен шығу ықтималдығының тығыздық графигі

• Ақаулық тығыздығының шыңы 300-700 сағат аралығында байқалады, бұл *R(t)* күрт төмендеуімен сәйкес келеді.

• 700 сағаттан кейін *f(t)* төмендейді, бұл осы уақытқа дейін жұмыс істейтін даналардың аз екенін білдіруі мүмкін

3. Ақаулардың қарқындылық графигі $\lambda(t)$

• Бастапқыда сәтсіздіктердің қарқындылығы өте аз, бірақ 300-400 сағаттан бастап күрт өсу байқалады.

• 600 сағаттан кейін ақаулардың қарқындылығы максималды мәнге жетеді (~0,0115), бұл жабдықтың тез деградациясын растайды.

• 700 сағаттан кейін қарқындылық қайтадан төмендейді, бұл жабдықтың көп бөлігі істен шыққанына байланысты болуы мүмкін.

Тұжырымдар

1. Жабдық 300 сағатқа дейін сенімді жұмыс істейді, содан кейін істен шығудың белсенді өсуі басталады.

2. 300-700 сағаттық кезең – ең маңызды кезең: бұл кезде жаппай сәтсіздіктер орын алады, бұл профилактикалық күтімді немесе бөлшектерді ауыстыруды қажет етеді.

3. 700 сағаттан кейін үлгілердің көпшілігі істен шығып, қалған жабдықтарды одан әрі пайдалану тиімсіз болады.

Бұрғылау сорғыларының сенімділігін қамтамасыз ету үшін құрылымдық, пайдалану және ұйымдастырушылық факторларды ескеру қажет. Негізгі ұсыныстар:

1. Конструктивтік шешімдер

• Тозуға төзімді материалдарды пайдалану-легирленген болаттарды, керамикалық және полимерлі жабындарды қатты тозуға ұшырайтын бөлшектерге (гильзалар, поршеньдер, клапандар) қолдану.

• Поршеньдік топтың құрылымын оңтайландыру-жеңнің қалыңдығын арттыру, қалқымалы поршеньдер мен көп қабатты тығыздағыштарды қолдану.

• Салқындату және майлау жүйесін жетілдіру-температура жүктемелерін азайту үшін айналмалы салқындату жүйесін пайдалану.

• Клапандарды жаңарту-тығыздау мен беріктікті арттыру үшін жақсартылған геометриялық және күшейтілген серіппелі клапандарды қолдану.

• Кривошипті-шатун механизмнің сенімділігін арттыру-мойынтіректердің саңылаулары мен тозуын автоматты бақылау жүйелерін енгізу.

2. Пайдалану шаралары

• Сорғының жұмыс параметрлерін бақылау-датчиктер мен автоматтандырылған диагностикалық жүйелерді қолдана отырып, қысымды, температураны және діріл деңгейін үнемі бақылау.

• Бөлшектерді уақтылы ауыстыру және жөндеу – тозған элементтерді (жеңдер, поршеньдер, клапандар, өзектер) үнемі диагностикалау және ауыстыру.

• Сапалы майлау материалдарын пайдалану-жұмыс жағдайларын (температура, қысым, бұрғылау ерітіндісінің түрі) ескере отырып, майлар мен майларды таңдау.

• Бұрғылау ерітіндісін тазарту және сүзу-сорғы бөлшектерінің абразивті тозуын тудыратын бөлшектердің енуіне жол бермеу.

• Жұмыс режимдерін оңтайландыру-шамадан тыс жүктемелерге жол бермеу, сорғының ұсынылған жиілік пен қысым диапазонында жұмыс істеуі.

3. Ұйымдастыру шаралары

• Техникалық қызмет көрсету регламенттерін жобалау және сақтау – өндірушінің әзірлемелері мен ұсынымдарына сәйкес ТҚК жүргізу.

• Персоналды оқыту-сорғыларды пайдалану және қызмет көрсету жөніндегі операторлардың біліктілігін арттыру.

• Болжамды диагностика жүйесін енгізу-дірілді диагностикалау, акустикалық эмиссия және жылуды бақылау әдістерін қолдану.

• Барлық ақаулар мен жөндеулерді құжаттау-ақауларды талдау және олардың алдын алу шараларын жобалау.

Осы ұсыныстарды қолдану бұрғылау сорғыларының қызмет ету мерзімін ұзартады, апаттық тоқтау ықтималдығын азайтады және бұрғылау тиімділігін арттырады.

Жүргізілген зерттеулер негізінде келесі қорытындылар жасауға болады.

Қорытынды

1. Бұрғылау сорғыларының істен шығуының негізгі себептері гидравликалық бөліктің бөлшектерінің, атап айтқанда поршеньдердің, цилиндрлік втулкалардың, клапандар мен өзектердің тозуы болып табылады. Тозудың негізгі түрлері — абразивті, коррозиялық, шаршау және адгезиялық.

2. Ақаулық статистикасын талдау ақаулардың ең көп саны алғашқы 300-700 сағаттық жұмыс уақытында болатынын көрсетті, бұл осы кезеңде сорғылардың сенімділігінің тез төмендеуін көрсетеді.

3. Легирленген болаттар мен титан нитридті және вольфрам-карбид-кобальт негізіндегі жабындар сияқты тозуға төзімді материалдарды қолдану поршеньдер мен басқа да маңызды тораптардың қызмет ету мерзімін едәуір арттырады.

4. Бұрғылау сорғыларының құрылымын оңтайландыру (жақсартылған тығыздағыштар, жаңартылған клапандар, тиімді салқындату және майлау жүйелері) тозу қарқындылығын төмендетуге және жабдықтың сенімділігін арттыруға мүмкіндік береді.

5. Тұрақты диагностика, жұмыс режимін бақылау және сапалы майлау материалдарын пайдалану сорғылардың қызмет ету мерзімін ұзартуға және істен шығу жиілігін азайтуға ықпал етеді.

6. Болжалды диагностика жүйесін енгізу және техникалық қызмет көрсету регламенттерін жақсарту жабдықтың тоқтап қалуын азайтуға және бұрғылау жұмыстарының тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді.

Зерттеу нәтижелері бұрғылау сорғыларының жұмысын жақсарту және оларды жөндеу мен ауыстыру шығындарын азайту үшін пайдаланылуы мүмкін.

ӘДЕБИЕТ

1 Кудайберген К.М., Заурбеков С.А., Заурбеков К.С. Совершенствование насосно-циркуляционного комплекса для бурения глубоких скважин // Проблемы современной науки и образования. – 2017. – №3(85). С.: 41-45. [Kudajbergen K.M., Zaurbekov S.A., Zaurbekov K.S. Sovershenstvovanie nasosno-cirkulyacionnogo kompleksa dlya bureniya glubokih skvazhin // Problemy sovremennoj nauki i obrazovaniya. – 2017.– №3(85). S.: 41-45.].

2 А.Саламех, А.В. Яковенко. Поршневые насосы // Научный журнал «GLOBUS». Технические науки. – 2022. – №1 (42). С.: 30-34.[A.Salamekh, A.V. YAkovenko. Porshnevye nasosy // Nauchnyj zhurnal «GLOBUS». Tekhnicheskie nauki – 2022. – №1 (42). S.: 30-34.].

3 Д. В. Ощепков. Исследование проблем поршневых насосов // Технические науки. – 2009. – №3. С.: 73-77. [D. V. Oshchepkov. Issledovanie problem porshnevyh nasosov // Tekhnicheskie nauki. – 2009. – №3. S.:73-77].

4 А.С. Мамышев, А.В. Минеев. Повышение эксплуатационной надежности поршневых насосов при бурении нефтяных и газовых скважин // Технические науки. – 2009. – №3. С.:33-36. [A.S. Mamyshev, A.V. Mineev. Povyshenie ekspluatacionnoj nadezhnosti porshnevyh nasosov pri burenii neftyanyh i gazovyh skvazhin // Tekhnicheskie nauki. – 2009.– №3. S.:33-36.].

5 М.Ю. Коднянко, А.А. Дубовский, Е.В. Коднянко. Исследование работы быстроизнашиваемых узлов бурового насоса // Актуальные вопросы машиноведения. Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси. –2020. – Т.9. С.: 195-198. [M.YU. Kodnyanko, A.A. Dubovskij, E.V. Kodnyanko. Issledovanie raboty bystroiznashivaemyh uzlov burovogo nasosa // Aktual'nye voprosy mashinovedeniya. Ob"edinennyj institut mashinostroeniya NAN Belarusi. – 2020. – T9. S.: 195-198.].

6 А.Р. Макаров, С.В. Смирнов, С.В. Осокин, И.С. Пятов. Конструкционные материалы для поршней ДВС // Известия МГТУ «МАКМИ». –'2013. – №1(15). С.: 118-125. [A.R. Makarov, S.V. Smirnov, S.V. Osokin, I.S. Pyatov. Konstrukcionnye materialy dlya porshnej DVS // Izvestiya MGTU «MAKMI». – 2013. – №1(15). S.: 118-125].

7 В.Р. Ведрученко, А.Л. Иванов, В.А. Борисов, П.В. Литвинов. Влияние материала поршня на процесс сгорания топлива в двигателе // Вестник СибАДИ. – 2016. – №5(51). С.: 61-68. [V.R. Vedruchenko, A.L. Ivanov, V.A. Borisov, P.V. Litvinov. Vliyanie materiala porshnya na process sgoraniya topliva v dvigatele // Vestnik SibADI. – 2016. – №5(51). S.: 61-68.].

8 Е. Калиев, Р. Козбагаров, А. Торгаев, К. Байжуманов, Г. Найманова. Методы защиты от абразивного износа // Вестник КазАТК. – 2022. – №123 (4). С.: 38-45. [E. Kaliev, R. Kozbagarov, A. Torgaev, K. Bajzhumanov, G. Najmanova. Metody zashchity ot abrazivnogo iznosa // Vestnik KazATK. – 2022. – 123 (4). S.: 38-45.].

9 М.А. Рузиматов. Факторы, влияющие на работу поршневого кольца // UNIVERSAM: технические науки. – 2022. – №5(98). С.: 48-51. [M.A. Ruzimatov. Faktory, vliyayushchie na rabotu porshnevogo kol'ca // UNIVERSAM: tekhnicheskie nauki. – 2022. – №5(98). S.: 48-51.].

10 Е.А. Клыч. Анализ методов увеличения износостойкости деталей аксиально-поршневых насосв // Материалы докладов 57-й Международной научно-технической конференции преподавателей и студентов. – 2024. – Т2/ С.:395-397. [E.A. Klych. Analiz metodov uvelicheniya iznosostojkosti detalej aksial'no-porshnevyh nasosv // Materialy dokladov 57-j Mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoj konferencii prepodavatelej i studentov. – 2024. – T2. S.:395-397.]

11 О.П. Бударова, С.В. Болдырев. Изнашивание пары трения поршень-втулка аксиально-поршневых насосов в условиях обводненного масла // Трение и износ. Государственное научное учреждение «Институт механики металлополимерных систем имени В.А. Белого НАН Беларуси». – 2020. – №1 С.: 43-49. [O.P. Budarova, S.V. Boldyrev. Iznashivanie pary treniya porshen'-vtulka aksial'no-porshnevyh nasosov v usloviyah obvodnennogo masla // Trenie i iznos. Gosudarstvennoe nauchnoe uchrezhdenie Institut mekhaniki metallopolimernyh sistem imeni V.A. Belogo NAN Belarusi. – 2020. – №1. S.: 43-49.].

12 Р.Я. Абдюкова. Практические исследования характера износа клапанов буровых поршневых насосов // Современные наукоемкие технологии: ООО "Издательский дом "Академия естествознания". – 2020. – №3. С.: 9-13. [R.YA. Abdyukova. Prakticheskie issledovaniya haraktera iznosa klapanov burovyh porshnevyh nasosov // Sovremennye

naukoemkie tekhnologii: OOO "Izdatel'skij dom "Akademiya estestvoznaniya". – 2020. – №3. S.: 9-13.].

13 Е. Калиев, Р. Козбагаров, А. Торгаев, К. Байжуманов, Г. Найманова. Методы защиты от абразивного износа // Вестник КазАТК. – 2022. – №123 (4). С.: 38-45. [. Kaliev, R. Kozbagarov, A. Torgaev, K. Bajzhumanov, G. Najmanova. Metody zashchity ot abrazivnogo iznosa // Vestnik KazATK. – 2022. – №123 (4). S.: 38-45.].

14 А.М. Буров, М.В. Иванов, Е.Ю. Козловцева, Э.М. Шайхутдинова. Совершенствование конструкции поршня бурового насоса // Вестник волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. – 2021. – №4 (85). С.:156-163. [.M. Burov, M.V. Ivanov, E.YU. Kozlovceva, E.M. SHajhutdinova. Sovershenstvovanie konstrukcii porshnya burovogo nasosa // Vestnik volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. – 2021. – №4 (85). S.:156-163.].

15 А.А. Ищенко, Е.В. Дашко. Определение интенсивности абразивного износа защитного полимерного покрытия // Вісник Приазовського державного технічного університету. – 2012. – Т2. С.: 86-91. [A.A. Ishchenko, E.V. Dashko. Opredelenie intensivtnosti abrazivnogo iznosa zashchitnogo polimernogo pokrytiya // Visnik Priazovs'kogo derzhavnogo tekhnichnogo universitetu. – 2012. – T2. S.: 86-91].